

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2020

Bc. Michal Tomek

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Katedra elektroenergetiky

**Porovnání kvalitativních a kvantitativních parametrů
osvětlovacích soustav**

Qualitative and quantitative parameters of lighting systems
comparison

2020

Bc. Michal Tomek

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Michal Tomek**
Studijní program: N2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika
Téma: Porovnání kvalitativních a kvantitativních parametrů osvětlovacích soustav
Qualitative and Quantitative Parameters of Lighting Systems Comparison

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

- Kvalitativní a kvantitativní parametry moderních světelných zdrojů
- Kvalitativní a kvantitativní parametry moderních svítidel
- Možnosti optimalizace osvětlovacích soustav
- Měření světelně-technických parametrů vybraných svítidel
- Provedení návrhů a porovnání osvětlovacích soustav provedených s vybranými svítidly

Seznam doporučené odborné literatury:

Literatura:

- [1] Sokanský, K.: Světelná technika. ČVUT, Praha 2011
- [2] Habel, J.: Světlo a osvětlování. FCC Public, Praha 2013
- [3] Sborníky z Kurzů osvětlovací techniky, Sborníky VŠB-TU
- [4] Manuály k výpočetním programům (Relux, Dialux, WILS)

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Tomáš Novák, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2019

Datum odevzdání: 30.04.2020


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry





prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 10. května 2020


Podpis studenta

Poděkování

Rád bych poděkoval doc. Ing. Tomáši Novákovi, Ph.D. za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této diplomové práce.

Abstrakt

Diplomová práce je zaměřená na porovnávání kvalitativních a kvantitativních parametrů svítidel osvětlovacích soustav z hlediska elektrických, mechanických a optických vlastností. Teoretická část popisuje terminologii světelně-technických veličin světelných zdrojů a svítidel, řízení osvětlovacích soustav, normativní požadavky vnitřních pracovních prostorů a současný technický rozbor LED svítidel. V praktické části jsou poskytnuta svítidla firmy Doublepower!! s.r.o. průmyslového typu do nejnáročnějších podmínek. Z měření jsou zpracovány křivky svítivosti a následně i veškeré parametry strukturovány do hodnotícího celku. V předposlední kapitole jsou výstupní data aplikována v reálné průmyslové hale pomocí výpočtového softwaru Dialux. Na základě výsledků jsou porovnány kvalitativní a kvantitativní parametry s vhodným doporučením na energetickou náročnost a ohledem na normativní požadavky.

Klíčová slova

světlo; LED; světelná dioda; svítidlo; světelný zdroj; křivky svítivosti; osvětlovací soustava; Dialux

Abstract

The diploma thesis is focused on comparison qualitative and quantitative parameters of lighting systems in terms of electrical, mechanical and optical properties. The theoretical part describes the terminology of light-technical quantities of light sources and lights fitting, control of lighting systems, normative requirements of internal working areas and current technical analysis of LED light fitting nowadays. In the practical part are provided lights fitting by Doublepower!! s.r.o. industrial type into more demanding conditions. The luminance curves are processed from the measurements and subsequently all parameters are structured into an evaluation unit. In the penultimate chapter, the output data is applied in a real industry hall using the Dialux calculation software. Based on the results, qualitative and quantitative parameters are compared with a suitable recommendation on energy performance and with respect to normative requirements.

Key words

light; LED, light emitting diode; luminary; light source; waveform luminance; lighting system; Dialux

1	Úvod.....	1
2	Světelné technické parametry průmyslových svítidel	2
2.1	Parametry světelných zdrojů	2
2.2	Princip funkce LED.....	4
2.3	Parametry svítidel a jejich skladba.....	6
2.4	Řídící systémy	9
3	Požadavky na vnitřní osvětlení	14
3.1	Normativní požadavky pracovních prostorů	14
3.2	Výpočetní metody pro návrhy vnitřních osvětlovacích soustav.....	17
4	Technický rozbor LED svítidel.....	20
4.1	Elektrotechnické vlastnosti	20
4.2	Optické vlastnosti.....	23
4.3	Mechanické vlastnosti	26
5	Měření a porovnání svítidel.....	31
5.1	Průmyslové svítidla Doublepower!! v provozu.....	32
5.1.1	Svítidlo Doublepower!! SKY 120 W	32
5.1.2	Svítidlo Doublepower!! TREE LED 35 W	33
5.1.3	Svítidlo ELOB systems LED High Bay	35
5.1.4	Porovnání svítidel uvedených v provozu	36
5.2	Tubusové vzorky Doublepower!!.....	37
5.2.1	Sample 1 – SEA 16 W PC Clear	38
5.2.2	Sample 2 – SEA 16 W LEDIL PC Clear.....	38
5.2.3	Sample 3 – SEA 16 W BB PC Clear.....	39
5.2.4	Sample 4 – SEA 16 W PC MAT	41
5.2.5	Sample 5 – SEA 16 W BB GLASS.....	41
5.2.6	Porovnání tubusových vzorků	42
6	Návrh osvětlovací soustavy pomocí výpočtového softwaru	44
6.1	Návrh osvětlovací soustavy haly vojenské letecké techniky.....	44
6.1.1	Vlastnosti haly vstupujících do výpočetního programu Dialux	44
6.1.2	Vhodná volba a umístění svítidel	45
6.1.3	Výpočet umělého osvětlení haly letecké techniky	46
6.1.4	Porovnání změřených svítidel	46
6.2	Návrh osvětlovací soustavy průmyslové částí objektu TATRA TRUCKS, a.s.	48
6.2.1	Vlastnosti chodby vstupujících do výpočetního programu Dialux	48

6.2.2	Vhodná volba a umístění svítidel	48
6.2.3	Výpočet umělého osvětlení chodby	49
7	Řešení problematiky osvětlovací soustavy	50
7.1	Průmyslová hala letecké techniky – svítidlo SKY 120 W	50
7.2	Chodba části objektu TATRA TRUCKS, a.s. a Sample 1 a 2	53
Závěr.....		55
Literatura.....		57
Seznam obrázků		60
Seznam tabulek.....		61
Seznam příloh		62

Seznam použitých symbolů a zkratek

γ	(°)	úhel natočené plochy k pozorovateli
β	(°)	úhel dopadu paprsků
Φ	(lm)	světelný tok
Φ_e	(lm)	zářivý tok
Φ_{SV}	(lm)	světelný tok svítidla
Φ_Z	(lm)	světelný tok zdroje
Φ_{ZTR}	(lm)	světelný tok ztracený
Ω	(sr)	prostorový úhel
ρ	(%)	činitel odrazu
δ	(°)	úhel clonění
η	(lm·W ⁻¹)	měrný výkon
η_E	(-)	činitel využití
Ψ	(%)	ztráty vlivem několikanásobného odrazu
κ	(%)	ztráty vlivem několikanásobného odrazu
A	(m ²)	velikost svítící plochy k pozorovateli
A	(m ²)	velikost osvětlované plochy
E	(lx)	osvětlenost
\bar{E}_m	(lx)	udržovaná osvětlenost
E_{m0}	(lx)	počáteční průměrná hladina osvětlenosti srovnávací roviny
f_1	(-)	část záření dopadající na světelně činnou část difuzoru
f_2	(-)	část světla prostupující otvorem difuzoru
I	(cd)	svítivost
I_{FMAX}	(A)	maximální proud diody
I_R	(A)	zbytkový proud diody
I_γ	(cd)	svítivost v daném směru
K	(-)	kontrast jasu
L_o	(cd·m ⁻²)	jas pozorovaného objektu
L_P	(cd·m ⁻²)	jas pozadí
L_γ	(cd·m ⁻²)	jas svítidla
MF	(-)	udržovací činitel

P	(W)	příkon
p	(-)	činitel polohy podle Gutha.
R _a	(-)	všeobecný index podání barev
T _c	(K)	náhradní teplota chromatičnosti
U _{BR}	(V)	závěrné napětí diody
U _D	(V)	difuzní napětí diody
U _o	(lx)	rovnoměrnost osvětlení
U _{OTV}	(V)	napětí sloužící k otevření tranzistoru
U _P	(V)	prahové napětí diody
UGR	(-)	rušivé oslnění
z	(-)	udržovací činitel
a.s.		akciová společnost
ČSN		česká státní norma
DALI		digitální adresovatelné světelné rozhraní (digital addressable lighting interface)
DIN		německá národní norma (deutsche industrie-norm)
DSI		digitální sériové rozhraní (digital serial interface)
EN		evropská norma
IK		stupeň krytí proti mechanickému poškození
IP		stupeň krytí proti vniknutí cizích těles a dotyku (ingress protection)
KNX		inteligentní systém pro regulaci elektroinstalace
LDT		datový soubor zdroje světla (luminaire data file)
LED		dioda vyzařující optické záření (light emitting diode)
PC		polykarbonát
PELV		ochranné malé napětí (protective extra low voltage)
PWM		pulzně šířková modulace (pulse width modulation)
s.r.o. (GmbH)		společnost s ručením omezeným (gesellschaft mit beschränkter haftung)
SELV		bezpečné malé napětí (safety extra low voltage)
TIR		total internal reflection
VO		veřejné osvětlení
VŠB-TUO		Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

1 Úvod

Projektant při návrhu osvětlovací soustavy vnitřního osvětlení pracovních prostorů musí zaručit zrakovou pohodu pro předem definovaný zrakový úkon. Proto je potřeba splňovat normativní požadavky. Navržená osvětlovací soustava musí projít souhlasem investora, neboť náklady spojené s provozem osvětlovací soustavy hrají v dnešní době značnou roli. Z toho důvodu je nutné sledovat kvalitativní a kvantitativní parametry světelných zdrojů a svítidel, protože tvoří základní prvek osvětlovací soustavy.

V dnešní době začínají převažovat světelné diody díky svému rostoucímu měrnému výkonu. Jedná se o velmi účinný světelný zdroj, který se prosazuje namísto konvekčních světelných zdrojů. Výhodou je velmi vysoký všeobecný index podání barev (90 a více) a volitelná teplota chromatičnosti. Efektivním chlazením LED se dá také dosáhnout dlouhé doby životnosti světelného zdroje. Technologie LED v porovnání s jinými světelnými zdroji má rychlejší náběh světelného toku.

Na trhu je možné se setkat se spoustou typů LED svítidel a řídících systémů, které autonomně regulují osvětlovací soustavu. Z tohoto důvodu je potřeba respektovat elektrické, mechanické a optické vlastnosti. Především optické vlastnosti výrazně ovlivňují distribuci světelného toku. Základem je potřeba volit takový typ svítidel, aby nedocházelo ke snížení účinnosti světelné činnosti částí a k oslnění v úhlu pozorovatele.

Předmětem této diplomové práce je měření průmyslových svítidel a pomocí nich následná projekce osvětlovací soustavy reálné průmyslové haly, ve které se předpokládá vyšší teplota okolí a agresivní prostředí. V každé části průmyslové haly přísluší výpočtová plocha, jejíž normativní požadavky závisí na typu prováděné činnosti. Při návrhu je potřeba brát v úvahu odraznosti povrchu stěn, udržovacího činitele a výšku srovnávací roviny. Na základě druhu prostoru, úkolu nebo činnosti se stanoví požadující hodnoty vycházející z normy ČSN EN 12464-1 *Světlo a osvětlování – Osvětlení pracovních prostorů – Část 1: Vnitřní pracovní prostory*. Projektant by měl zvolit rozložení a typ svítidel tak, aby pořizovací cena a provozní náklady osvětlovací soustavy byl investor ochoten schválit.

V praxi investor většinou přihlíží k nižším pořizovacím a provozním nákladům za cenu nesplnění veškerých normativních požadavků. Splnění požadavků bývá častým problémem při návrhu osvětlovací soustavy, neboť průmyslové haly mohou být vysoké až patnáct metrů a pracovní prostor bývá tvořen velkým počtem překážek s vysokým nárokem na udržovanou osvětlenost a rovnoměrnost osvětlení v místě pracovního úkolu. Cílem tedy je, aby projektant a investor zvolili vhodný kompromis při návrhu osvětlovací soustavy a tím byla zaměstnancům zajištěna především bezpečnost provozu a zraková pohoda.

2 Světelně technické parametry průmyslových svítidel

2.1 Parametry světelných zdrojů

Mezi základní parametry, které určují vlastnosti světelných zdrojů patří světelný tok, měrný výkon, náhradní teplota chromatičnosti, index podání barev a životnost. Tyto parametry je nutno brát v úvahu, neboť světelný zdroj tvoří základní prvek osvětlovací soustavy a podílí se na kvalitě a hospodárnosti. [1]

Světelný tok Φ (lm)

Hodnota světelného toku vyjadřuje množství světelné energie, které vyzáří zdroj do svého okolí za jednotku času. Jednotkou je lumen. Tato veličina se mění v závislosti na použitém typu světelného zdroje. Všeobecně světelný tok představuje zářivý tok Φ_e (lm). Zářivý tok udává velikost výkonu, kdy se záření přenáší, přijímá nebo vysílá. [1]

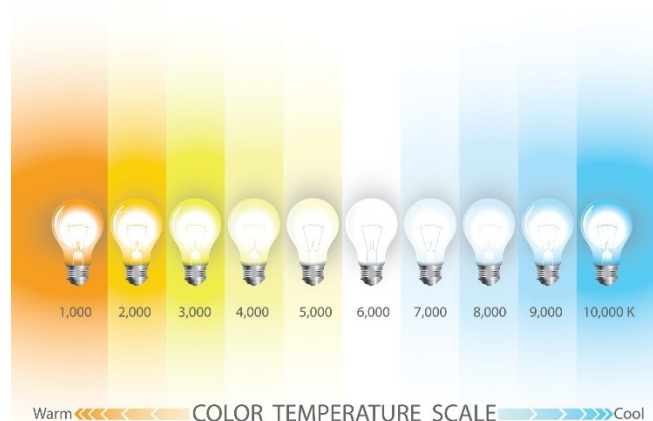
Měrný výkon η (lm·W⁻¹)

Jelikož má umělý zdroj světla největší význam je-li napájen elektrickou energií, lze tento zdroj nazývat elektrickým světelným zdrojem. Měrný výkon udává přeměnu elektrické energie (příkon) na energii světelnou (světelný tok). Definuje, kolik lze získat světelného toku z wattu. Maximální hodnoty měrných výkonů zdrojů se pohybují do 200 lm·W⁻¹. U zdrojů s předřadníky se při výpočtech uvažuje navíc měrný příkon, který je roven měrnému výkonu zvětšeného o výkon spotřebovaný předřadníkem. [1]

$$\eta = \frac{\Phi}{P} \quad (2.1)$$

Náhradní teplota chromatičnosti T_c (K)

Slouží k popisu barevných vlastností světla. U světelného zdroje lze definovat tři kategorie. První kategorie se nazývá teple bílá. Zde patří typy světelných zdrojů, jejichž hodnota je nižší než 3 300 K. Druhá kategorie je neutrálně bílá. Zde se hodnoty pohybují v rozmezí od 3 300 K do 5 300 K. Poslední třetí je kategorie chladně bílá s hodnotami větší než 5 000 K. Tento parametr je velmi důležitý při výběru světelného zdroje, neboť má značný vliv na vnímání lidského oka. Jednotkou je Kelvin. Pokud mají dva zdroje stejnou barvu světla, může lidské oko vnímat rozdílné podání barev. Tuto vlastnost lze popsat všeobecným indexem podání barev. Při koupi světelného zdroje je nutné tento parametr respektovat. Například do obývacího pokoje je vhodná náhradní teplota chromatičnosti přibližně 2700 K až 3000 K. Díky tomu není lidské oko namáháno a je zajištěna zraková pohoda. [1]



Obrázek 1 Náhradní teplota chromatičnosti [2]

Všeobecný index podání barev R_a (-)

Hodnota určuje, jak je člověk schopen věrohodně vnímat barvy pod zdrojem světla. Všeobecný index podání barev má rozsah hodnot od 0–100. Při nule nelze barvy rozlišit. Toto se týká například nízkotlakých sodíkových výbojek, které je možné v dnešní době nalézt na dálnicích v Belgii. Nabývá-li index hodnotu 100, jedná se o shodu v podání barev u teplotních zdrojů. Vyhodnocování probíhá na několika vzorcích, na kterých je sledován rozdíl vnímání barev. [1]

Životnost (h)

Jedná se o důležitý parametr, který udává, jak dlouho bude světelný zdroj hospodárně svítit. Bere-li se v úvahu žárovka, je životnost ukončena dána přepálením vlákna. U ostatních zdrojů (LED, zářivky, výbojky) dochází po určité době k poklesu světelného toku. Proto je nutné parametr rozdělit do dvou kategorií. Jedná se o průměrnou životnost a užitečnou životnost. Průměrná vyjadřuje čas, kdy svítí přesně polovina světelných zdrojů osvětlovací soustavy. Užitečná nebo také ekonomická životnost se zabývá poklesem světelného toku. Konec životnosti světelného zdroje nastává tehdy, pokud dojde k poklesu světelného toku o 80 % z jeho počáteční hodnoty. [1]

Dělení světelných zdrojů

Základní dělení světelných zdrojů lze zařadit do tří skupin. První skupinou jsou teplotní (žárovky). Ty mohou být plněné plynem nebo vakuové. Pod žárovky plněné plynem patří klasické nebo halogenové. Základní princip spočívá při průchodu proudu, kdy dojde k zahřátí kovu na vyšší teplotu. Tepelným pohybem poté látka generuje optické záření.

Další skupinou jsou zdroje výbojové. Ty pracují na principu elektrických výbojů v plynu či parách kovů. Dochází tak k přeměně elektrické energie na kinetickou energii elektronů. Ta je následně při srážce s plynem přeměněna na záření optické. Do této skupiny patří vysokotlaké a nízkotlaké výbojky. Mezi nízkotlaké lze zařadit sodíkové, kompaktní, indukční a zářivky. Vysokotlaké mohou být například rtuťové, halogenidové, sodíkové, xenonové nebo plazmové světelné zdroje.

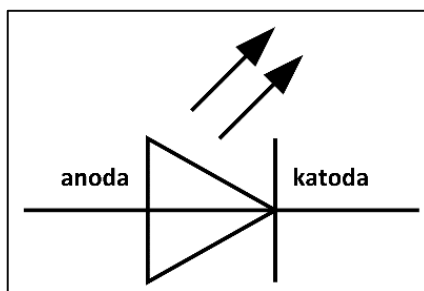
Poslední třetí skupinou jsou polovodičové zdroje (LED). Tyto zdroje se dělí na RGB (red-green-blue) a zdroje s luminoforem. Základní princip je založen průchodem proudu polovodičovým přechodem. Následně je energie vyzařována ve formě fotonů. Dochází k samovolnému přechodu elektronů ze stavu vybuzeného do základního energetického stavu. [1]

2.2 Princip funkce LED

Světelné diody (LED – Light Emitting Diode), což v překladu znamená, že se jedná o diodu obsahující PN přechod, z kterého je vyzařováno optické záření, díky principu elektroluminiscence. Tento PN přechod je tvořen materiálem typu N a typu P. Polovodič typu N – nevlastní vodivost elektronová, polovodič typu P – nevlastní vodivost děrová. Při napájení elektrického napětí diody, kdy teče elektrický proud v propustném směru (princip podobný jako u usměrňovacích diod) dojde k vložení minoritních nosičů náboje přes PN přechod. Ve chvíli, kdy elektrický náboj prochází přechodem, dojde k rekombinaci (sloučení) elektronů a děr. To znamená, že volné elektrony ztratí energii a putují na oběžnou dráhu v atomech. Díky tomu vzniká energie, která je vyzařována ve formě fotonů. V závislosti na použitém materiálu PN přechodu je možné určit rozsah vlnových délek. Elektrony se mohou pohybovat jen v některých energetických hladinách, tudíž i vyzařený foton nabývá jen některé hodnoty vyzařené energie s určitou vlnovou délkou. U LED rozlišujeme pouze dva typy PN přechodů:

- homogenní přechod – je tvořen jedním materiálem,
- heterogenní přechod – skládá se ze dvou materiálů (větší výkon).

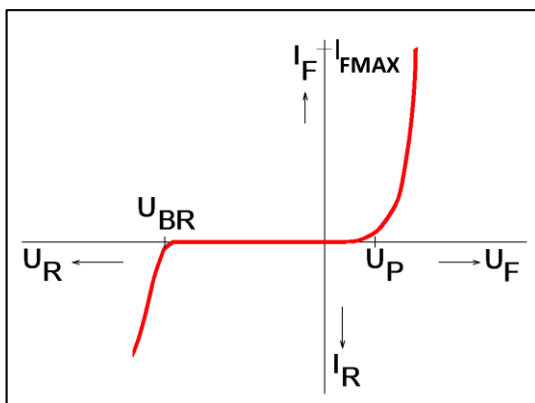
Světelné diody lze rozdělit v závislosti na dominantní vyzařované vlnové délce – infračervené a ultrafialové. Toto rozdělení je dáno na základě použitých složek materiálu a provedení diody. Vyzařuje-li dioda na vlnové délce okolo 635 nm, tak dochází k uvolňování malého množství energie. Poté má dioda teplejší odstín. Výroba toho typu je nejjednodušší, protože se zde nachází sloučenina tvořící 35 % galliumarsenidu a 65 % fosforu. Modré světlo vznikne uvolněním velkého množství energie. Díky tomu je výroba složitější. Pracuje se zde se sloučeninou SiC, což je karbid křemíku (sloučenina křemíku a uhlíku). Připravuje se buď pomocí reakce uhlíku s křemíkem nebo oxidem křemičitým. Další sloučeninou k výrobě modré barvy je GaN, což je nitrid gallitý. Jedná se o prášek šedého odstínu. Vlnová délka nabývá hodnot okolo 470 nm. Lidské oko je však nejcitlivější na vlnové délce 555 nm – barevný tón spektrální barvy je zelený (viditelná oblast 380 nm – 780 nm). [8]



Obrázek 2 Schématická značka světelné diody

Parametry lze rozlišit na elektrické a světelně technické. Do kategorie elektrických parametrů lze zařadit například jmenovité napětí, jmenovitý příkon, proud tekoucí diodou. Mezi světelně-technické

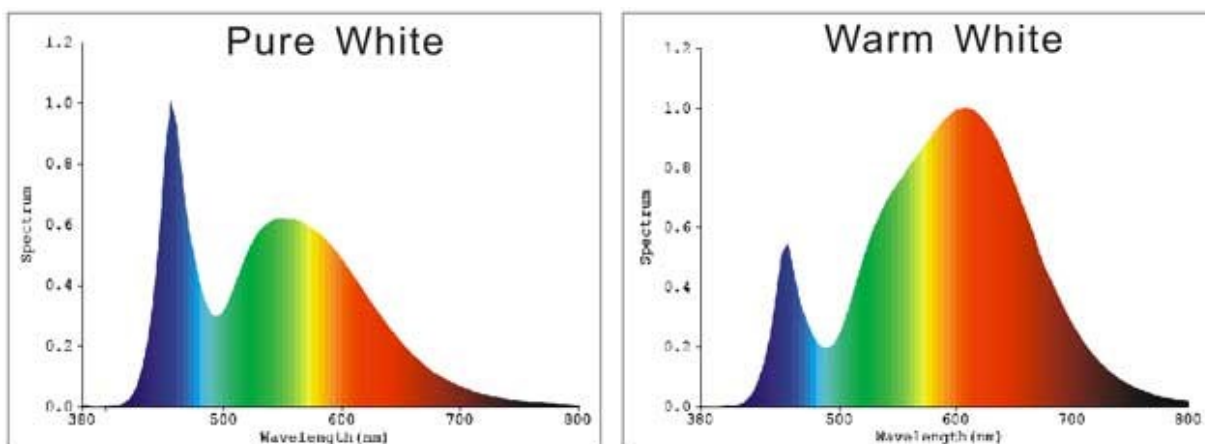
parametry se řadí celkový zářivý tok, index podání barev a náhradní teplota chromatičnosti. Na obrázku níže je znázorněna V-A (Voltampérová) charakteristika LED diody s vyznačenými mezními parametry.



Obrázek 3 V-A charakteristika světelné diody

Popis jednotlivých parametrů: U_p – prahové napětí, odpovídá napětí difuznímu U_D , dioda v této oblasti vede dostatečně velký proud, až k překročení prahového napětí. Proud I_{FMAX} je mezní parametr. Definuje maximální proud, při kterém výrobce zaručuje, že se dioda nepoškodí (index F vyjadřuje anglické slovo „forward“ – propustný směr). Napětí U_{BR} je závěrné napětí diody (přibližně -5 V). U diod lze definovat i zbytkový proud I_R . Tento proud teče v závěrném směru do překročení závěrného napětí. Světelnou diodu není vhodné v závěrném směru provozovat. To z důvodu, protože maximální napětí je pouze okolo 5 V. V propustném směru je prahové napětí vyšší než u usměrňovacích diod. Hodnota prahového napětí se liší v závislosti na barvě. Zatímco infračervená dioda má prahové napětí okolo 1 V, tak u modré nabývá hodnot okolo 3 V.

Z hlediska světelně-technických parametrů je nutno zmínit, že využití LED v dnešní době stále roste díky velkému měrnému výkonu. Hodnoty se dnes pohybují okolo $200 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$. Všeobecný index podání barev dosahuje přes 90 a náhradní teplota chromatičnosti je volitelná. Na obrázku níže lze vidět porovnání studené a teplé LED. Rozdíl je v maximu relativního spektra v závislosti na vlnové délce. Zatímco má modrá barva maximum v okolí kratších vlnových délek, červená barva má maximum při delších vlnových délkách.



Obrázek 4 Spektrální charakteristika studené a teplé LED [9]

Generovat bílé světlo lze dvěma způsoby. Mísením monochromatických LED. Například při RGB (red–blue–green) vznikne trichromatický světelný zdroj. Druhý způsob generace bílého světla je založen na principu konvektoru vlnových délek. Část světla, která je primárně vyzařována na kratších vlnových délkách je absorbována v konvektorovém materiálu. Poté znovu vyzařena s delší vlnovou délkou. [1]

Problémem světelných diod je jejich chlazení. Na malé ploše vzniká velké ztrátové teplo, a tím dochází k oteplování PN přechodu. Tento jev je velmi nežádoucí, neboť vzniká pokles světelného výkonu. Vysoká teplota zapříčiní pokles vzniku zářivé rekombinace. Dále má vliv na životnost diody a účinnost luminoforu. Vysoká teplota diody je dána proudem, který jej prochází, typem provedení systému pro odvod tepla a teplotou okolí. Pro odvod tepla se často využívá chladič z hliníku odvádějící teplo přes žebrovaní. Další možností odvodu tepla lze využít tepelného výměníku, což má výhodu ve využití vzniklého ztrátového tepla. Dochází zde k ohřívání chladicího média (voda).

2.3 Parametry svítidel a jejich skladba

Svítidlo je zařízení, které usměrňuje a filtruje světelný tok generovaný jedním nebo více světelnými zdroji. Dále kromě světelných zdrojů svítidlo obsahuje prvky potřebné k jeho uchycení, pomocné obvody a díly k ochraně zdrojů. Svítidlo má světelně činné části a konstrukční části. Světelně činné části slouží k usměrnění a rozptýlení světelného toku, k omezení oslnění (omezení jasu v úhlu vůči pozorovateli). Konstrukční části svítidla zajišťují upevnění zdroje a ochraně proti vniknutí cizích těles a vody (IP).

Na základě umístění lze svítidla rozdělit na venkovní, vnitřní a speciální. Mezi venkovní svítidla patří: osvětlení komunikací, parková, architektonická, osvětlení sportovišť a reflektorová. Do kategorie vnitřní svítidla: bytová, kancelářská, průmyslová, osvětlení sportovišť. Jako speciální svítidla se dnes využívá důlních svítidel, ručních svítlen a automobilových osvětlení. Z hlediska montáže je možné se setkat se svítidly přisazenými (stropní, nástěnná), stojanovými, zápusťnými, závěsnými a na stožáru. [1]

Světelný tok svítidla Φ_{SV} (lm)

Tato hodnota je dána rozdílem světelného toku všech světelných zdrojů (Φ_Z) umístěných ve svítidle a toku (Φ_{ZTR}), který se ztratí při optickém zpracování. Pomocí těchto veličin je možné stanovit účinnost svítidla. [1]

Účinnost svítidla (%)

Udává hospodárnost svítidla a jedná se o poměr světelného toku svítidla ke světelnému toku zdroje ve svítidle. Účinnost lze vypočítat ze vztahu:

$$\eta_{SV} = \frac{\Phi_{SV}}{\Phi_Z} \quad (2.2)$$

U LED svítidel může účinnost přesahovat až 95 %. U běžných svítidel nabývá hodnot přibližně v rozmezí 50 % - 85 %. [1]

Jas svítidla L_γ ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$)

Jedná se o podíl svítivosti svazků světelných paprsků I_γ (cd) v daném směru a velikosti průmětu svítící plochy do roviny kolmé k uvažovanému směru (viditelná pozorovatelem). Úhel γ v rovnici 1.3 značí natočení viditelné plochy od kolmice k ose pohledu. Obvykle se pro vnitřní prostory udává kritický úhel v rozmezí od 45° do 85° od vodorovného směru pozorovatele.

$$L_\gamma = \frac{I_\gamma}{A \cdot \cos \gamma} \quad (2.3)$$

Jas je všeobecně definován jako měrná svítivost. Lidské oko vnímá jasy. Proto záleží na směru pohledu pozorovatele a jeho poloze. Ze vztahu lze vidět, že zvětší-li se svítivost vyzařována ve směru, dojde ke zvýšení jasu svítidla. Pokud se zvýší velikost svítící plochy viditelné pozorovatelem, dojde ke snížení jasu. Pomocí jasů jsme schopni určit kontrast ze vztahu:

$$K = \frac{|L_O - L_P|}{L_P} \quad (2.4)$$

K ... kontrast mezi pozorovaným objektem a pozadím

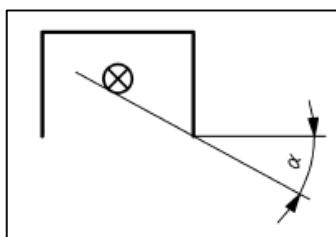
L_O ... jas pozorovaného objektu

L_P ... jas pozadí

Tento vztah udává viditelnost předmětů. Jelikož kontrast může být pozitivní i negativní, je čitatel v absolutní hodnotě. [1]

Úhel clonění δ ($^\circ$)

Jedná se o úhel, jehož hodnota udává míru zaclonění světelného zdroje svítidlem. Tento ostrý úhel se nachází mezi vodorovnou rovinou a přímkou spojující okraj svítidla se světelným zdrojem (viz. obr.). [1]



Obrázek 5 Úhel clonění α [15]

Křivky svítivosti

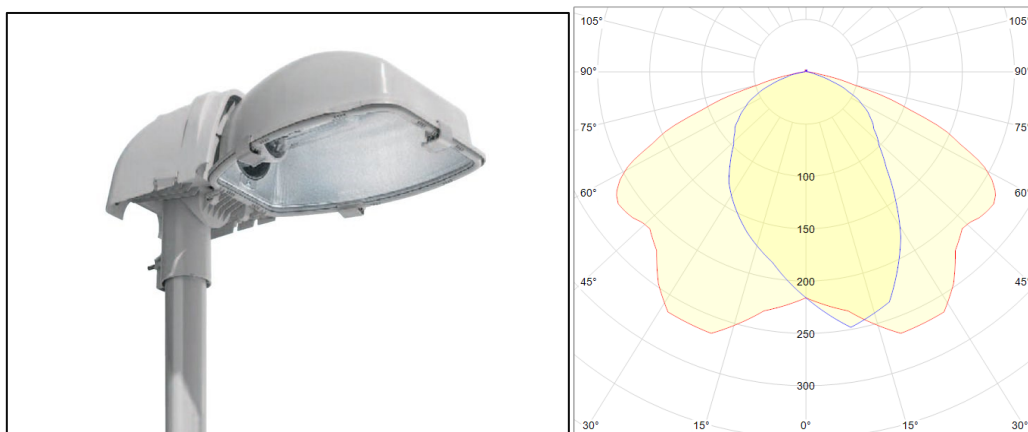
Znázorňují, jakým způsobem se šíří světelný tok v prostoru. Tyto křivky jsou konstruovány na základě svítivosti I (cd) a jedná se o grafy v jednotlivých směrech. Svítivost představuje množství světelného toku, který je vyzařován v prostorovém úhlu Ω (sr). Vychází se ze vztahu:

$$I = \frac{\Phi}{\Omega} \quad (2.5)$$

Křivky svítivosti se standardně vynášejí v polární souřadnicích a mohou se určit ze vztahu:

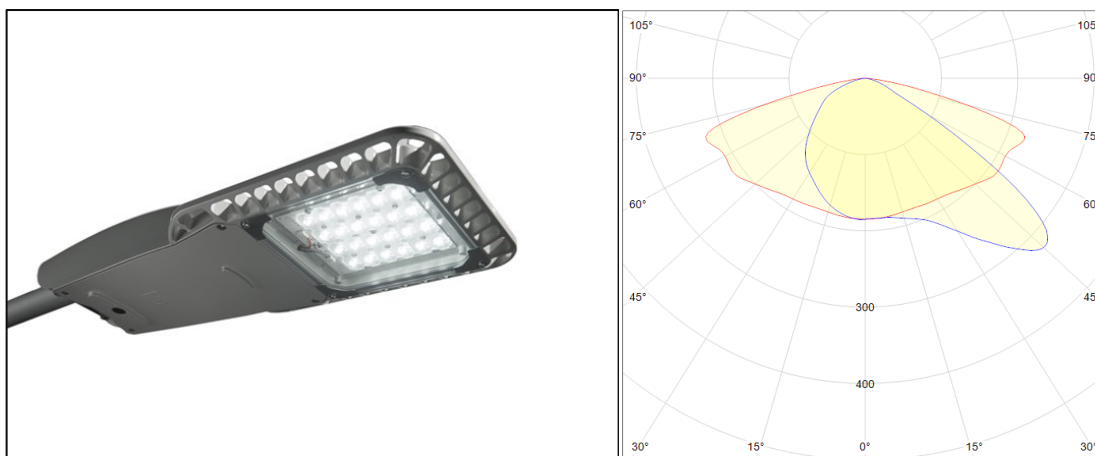
$$I_{\gamma} = I_0 \cdot f_I(\gamma) \quad (2.6)$$

kde I_0 je vztažná svítivost. Vztažný směr je shodný s normálou hlavní plochy. Od této normály jsou poté odečítány úhly. Svítivost v daném úhlu je pak značená I_{γ} a f_I je označována funkce charakterizující křivku svítivosti v daném řezu. Příklad náhodných křivek svítivosti v polárních souřadnicích je zobrazen na obrázku 6 a 7. [1]



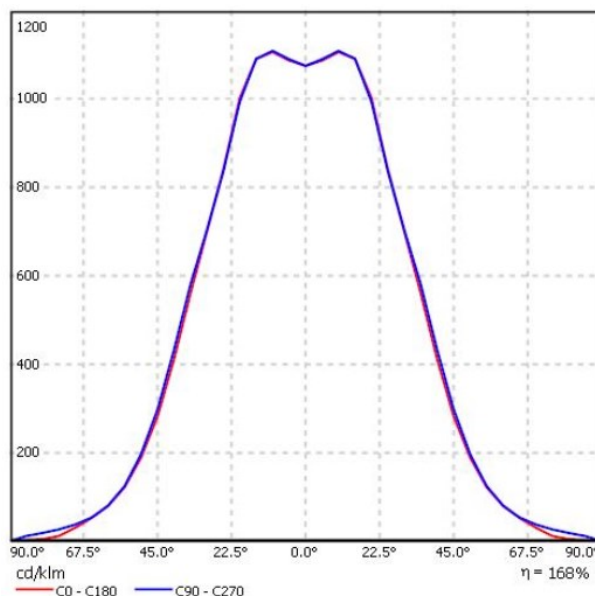
Obrázek 6 Svítidlo MYRA a křivky svítivosti [25]

Na obrázku výše je znázorněno svítidlo MYRA. Světelným zdrojem je vysokotlaká sodíková výbojka. Obvykle je index podání barev 20, náhradní teplota chromatičnosti se pohybuje okolo 2000 K. Všeobecně se příkon pro tento typ světelného zdroje uvádí v rozsahu 80 W – 1000 W. Měrný výkon dosahuje až $130 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$. Předřadníkem bývá tlumivka a stmívání se provádí změnou buzení (tlumivky) v rozmezí 50 % - 100 %. Vysokotlaká sodíková výbojka nemá teplotní závislost a čas startu dosáhne do 10 minut. Cena se pohybuje okolo 400 Kč v závislosti na typu výrobce. Na obrázku níže se nachází svítidlo Voltana. Světelným zdrojem je LED. Na rozdíl od svítidla MYRA model Voltana dosahuje vyššího indexu podání barev (přes 80). Náhradní teplota chromatičnosti je volitelná. [25]



Obrázek 7 Svítidlo Voltana a křivky svítivosti [25]

Z obrázku 6 a 7 je možné vidět, že svítidlo Voltana má širší vyzařovací charakteristiku. Modrá křivka zobrazuje distribuci světelného toku, díváme-li se na svítidlo z bokorysu. Červená křivka zobrazuje distribuci světelného toku, díváme-li se na svítidlo z půdorysu. Křivky svítivosti v pravoúhlých souřadnicích mohou vypadat viz. obr. 8.

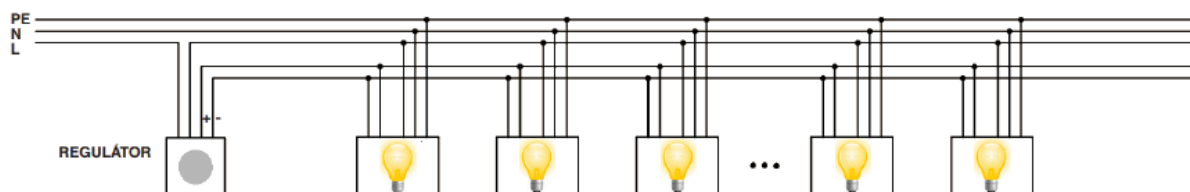


Obrázek 8: Křivky svítivosti v pravoúhlých souřadnicích

2.4 Řídicí systémy

Analogové řízení

Řídicím napětím v rozmezí 1 V – 10 V na vstupu předřadníku je možné ovládat elektronické předřadníky. Nevýhodou jsou skoky frekvence. Zvednutím frekvence například ze 40 kHz na 100 kHz se zvýší indukční reaktance X_L a sníží se světelný tok. Využívá se dvou vodičové signální vedení. Dochází zde k úbytkům napětí na vedení. Díky tomu nejsou elektronické předřadníky osvětlovacích soustav nastaveny na stejnou úroveň. Tento problém řeší digitální řízení. [1]



Obrázek 9 Zapojení s využitím regulátoru 1 V – 10 V [5]

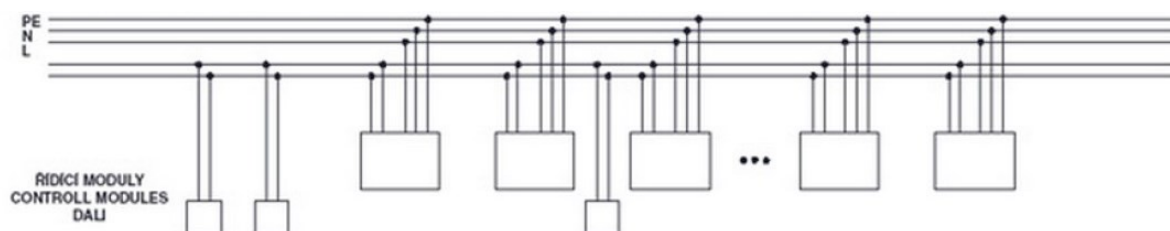
Digitální řízení

Využívá se zde rozhraní DSI (starší verze) nebo DALI (novější verze). U obou typů je výhodou odolnost proti rušení a přepólování řídicího napětí. Dále pak pro rozhraní DALI je zpětné hlášení při výpadku světelného zdroje a možnost uložení světelných scén do paměti. Tento protokol řeší vzájemnou komunikaci (digitální) mezi prvky osvětlovací soustavy, kde každý prvek je možné řídit, jelikož má svoji předepsanou adresu. Je zde omezení délky sběrnice (do 300 m), popřípadě pokles napětí o 2 V

a při napájení prvků nesmí dojít k překročení hodnoty proudu 250 mA, což je maximální proud zdroje. Zdroj může být samostatný nebo je součástí hlavního řídicího členu. Logická nula je v rozsahu 6,5 V – 6,5 V. DALI je systém, který pracuje buď samostatně, nebo jako subsystém do technologií správy budov (ČSN EN 62386 – *Digitální adresovatelné rozhraní pro osvětlení*). Pracuje-li jako samotný systém, skládá se pouze z řídicí jednotky, napájení a datové sběrnice. Pokud se rozhraní DALI využívá jako subsystém, dochází zde navíc k propojení řídicí jednotky se systémem správy budov. Propustnost dat je dána komunikační rychlostí 1200 bps (bit za sekundu). Každý příkaz rozhraní je složen z několika bitů. První je spouštěcí, poslední dva jsou stop bity. Dále 8 adresovacích a 8 příkazových (datových) bitů. Rozhraní má tyto limity:

- možnost připojení maximálně 64 individuálních pracujících jednotek,
- vytvoření maximálně 16 světelných skupin,
- nastavení maximálně 16 světelných scén.

Uživatel si může díky vnitřní paměti systému uložit všech 16 světelných scén a nastavovat si průběhy stmívání dle požadavků na osvětlení.

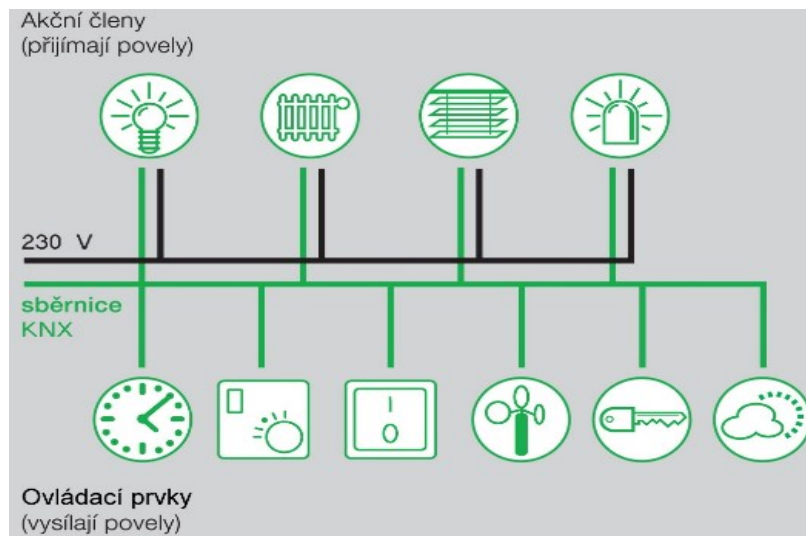


Obrázek 10 Zapojení stmívání pomocí rozhraní DALI [12]

Rozhraním DSI dochází k převodu signálu na digitální data. Mezi obslužné elementy patří například senzory, tlačítka atd. Úroveň světelného toku u všech svítidel je stejná. To z důvodu, protože předřadníky jsou řízeny digitálně. [7]

KNX

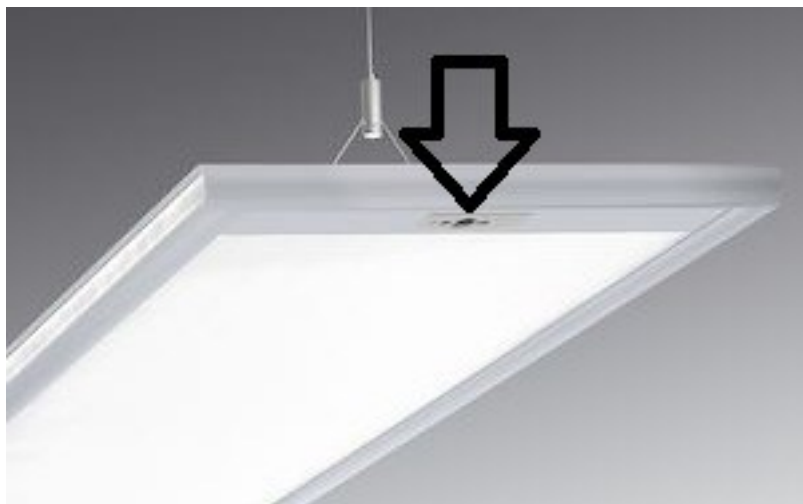
Systém KNX sloužící pro automatizaci budov byl založen třemi asociacemi: Asociace pro evropskou instalační sběrnici (EIBA), Evropská asociace systémů pro domy (EHSA) a Mezinárodní klub BatiBUS (BCI). Každá technologie obsahuje řídicí jednotku, kde se informace přenáší mezi zařízeními způsobem point-to-point přes sběrnice vedení. Tento standardizovaný systém tedy umožňuje sjednotit ovládání regulace klimatizace, osvětlení, vytápění, monitoring stavu domu, zabezpečovací systémy apod. Nejběžnější způsob přenosu informace mezi zařízeními se provádí pomocí přenosového média KNX TP. Jedná se o kroucenou dvoulinku jejichž výhodou je cena a možnost instalace do všech budov. Pomocí přenosového média KNX RF (rádiové vlny) je možnost se vyvarovat zásahu do konstrukce budovy například při výměně či opravě vedení. Dalšími typy přenosových médií mohou být KNX PL (silový rozvod) a KNX IP (datová síť LAN). Při kombinaci více technologií je potřeba využít mediálních spojek. Využití systému KNX lze dosáhnout významných úspor spotřebované energie, což se týká i provozních nákladů. [16]



Obrázek 11 Princip sběrnice KNX [24]

Světelný senzor

K regulaci umělého osvětlení se využívá senzorů a pomocí nich je možné snímat přítomnost osob, intenzitu osvětlení v místnosti a denního osvětlení. Mají přijímací charakteristiky v určitých směrech. Není-li dostatek denního světla, světelné senzory pomůžou uvnitř světelné soustavy. Je nutné předimenzovat osvětlovací soustavu na začátku instalace. Nevýhodou jsou však reakce na odraz a reakce na světlo přivedeno z okna. Tyto odrazy způsobují problémy s regulací (regulace až 30 % na začátku osvětlovací soustavy).



Obrázek 12 Senzor umístěný ve svítidle [19]

Využívá ke snímání fotodiodu nebo fototranzistor. Napájí se z předřadníků nebo z řídicích jednotek. Mohou ovládat i elektronické předřadníky, kdy referenční hodnoty se nastavují přímo na senzoru. Napájí se z předřadníků nebo řídicích jednotek. Za účelem vyšších energetických úspor některé předřadníky obsahují pohybová čidla. Díky tomu dochází k regulaci dle přítomnosti osob a denního světla. [1]

Řízení se zpětnou vazbou se využívá u individuálních senzorů každého svítidla vybavené stmívatelným předřadníkem. Umisťuje se na zářivkovou trubici svítidla s orientací svisle dolů. Tento senzor je možné používat pouze pro otevřená svítidla. Další možností je umístění na strop nebo do podhledu pro skupinu svítidel. Řídicí systém měří skutečnou hodnotu jasu. Ta se skládá z hodnoty umělého a denního světla. Výhodou řízení se zpětnou vazbou je automatická eliminace vlivu udržovacího činitele na celkovou osvětlenost (v jakémkoliv bodě). Nevýhoda vzniká při měření v místnosti s odrazy menších ploch. Další nevýhodou je problém rovnoměrného osvětlení místnosti. Jelikož intenzita osvětlení je nejvyšší u okna díky dennímu světlu, klesá tak hodnota se vzdáleností k protější zdi (potřeba automatizovat boční osvětlení – u okna ve skupinách). Díky tomu potom řízení vyžaduje několik kontrolních bodů. Avšak každé svítidlo má vliv na celou místnost, tzn. že řízené skupiny se ovlivňují navzájem. [19]

Regulace bez zpětné vazby se liší tím, že měří pouze hodnotu denního světla. Zároveň řeší problém, který nastává u řízení bez zpětné vazby tím, že senzor je umístěný přímo venku nebo v místnosti nasměrovaný do okna. Regulace lze provádět pomocí soumrakového spínače umístěným ve venkovním prostředí. Tento způsob se moc nevyužívá, neboť při častých změnách počasí měřená veličina silně kolísá. Změny kolísání se výrazně neprojeví v měřeném objektu. Další možností regulace bez zpětné vazby je pomocí směrového světelného senzoru, který je umístěný v měřeném objektu. Senzor je nasměrovaný k oknu a je umístěný nejčastěji na stropě. Měří se odrazy vstupující skrze okna. Problém nastává při změnách ročního období, neboť činitel odrazu se liší (tráva, sníh, hlína). Díky tomu může vznikat velká chyba měření. Regulace směrovým světelným senzorem umožňuje zachovat dynamiku změn poměru difúzního a přímého slunečního světla. [19]

Pohybový senzor

Využívají se především pro regulaci osvětlení chodeb a schodišť. Senzor obsahuje infrapasivní prvek (čidlo). Tento prvek vyzařuje detekční pole. Je-li toto pole tepelně narušené pohybem osob, dojde k sepnutí připojených zařízení na nastavenou dobu. Dnes existují dva typy detekce pohybu.

- Pyroelektrický princip. Jedná se o nejrozšířenější princip senzorů, které se označují PIR. Při vstupu do prostoru zachytí vyzařované teplo z přichozícího a spojí nebo rozpojí spínací kontakty. Senzory PIR nejsou úplně spolehlivé.



Obrázek 13 PIR senzor IS15-IP65 [13]

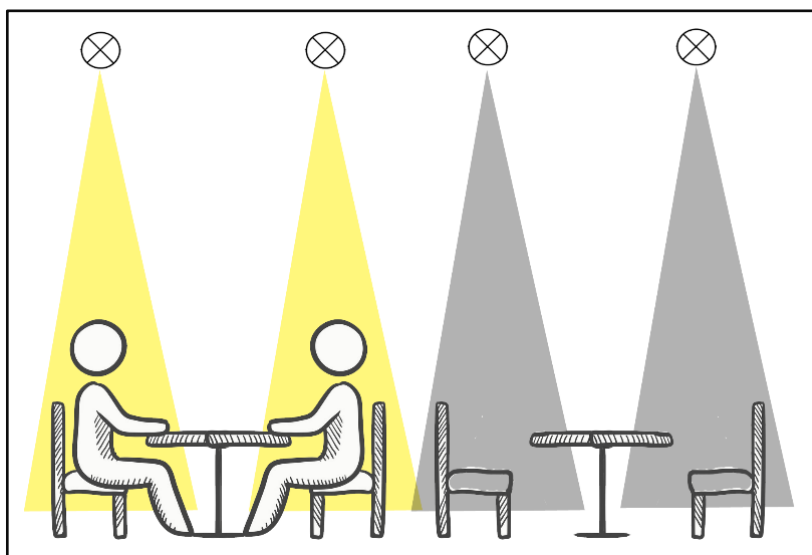
- Mikrovlnný princip. Senzor pracuje na principu vysílání vysokofrekvenčních elektromagnetických vln. Když je toto pole narušeno pohybem, mikroprocesor instalovaný uvnitř senzoru vydá spínací povel. Tento princip je schopný fungovat i přes dveře, okna či tenké stěny. Dosahy a snímané úhly jsou závislé na kvalitě senzorů. [19]



Obrázek 14 Mikrovlnný senzor [13]

Kombinovaný senzor

Kombinované světelné senzory umožňují regulovat osvětlení na základě denního světla a přítomnosti osob. Tyto senzory se v místě nepřítomnosti osob nevypínají, avšak stmívají. Díky tomu je vytvořené příjemné prostředí pro pracující zaměstnance – nevznikají černé díry. Na základě kombinovaných senzorů provozovatel ušetří na nákladech spotřebované elektrické energie. [1]



Obrázek 15 Příklad kombinovaného senzoru

3 Požadavky na vnitřní osvětlení

Při návrhu umělého osvětlení vnitřních prostorů se využívá mnoho světelně-technických výpočtů, díky nimž je možno danou osvětlovací soustavu lépe přizpůsobit požadavkům klienta. Mezi hlavní požadavky klienta patří především nízké investiční a provozní náklady. Umělé osvětlení vnitřních prostorů může být celkové, odstupňované, místní nebo kombinované. Celkové osvětlení nebere ohled na zvláštní požadavky. Odstupňované se využívá tam, kde je potřeba kvůli vykonávání práce zvýšit intenzitu osvětlení. Místní doplňuje osvětlení celkové a zvyšuje osvětlenost na daném místě (ovládání většinou samostatně). Kombinovaným osvětlením se uvažuje kombinace předešlých typů osvětlení. Například celkové – místní, nebo odstupňované – místní. [6]

3.1 Normativní požadavky pracovních prostorů

Osvětlení pracovních prostorů je popsáno normou ČSN EN 12464, která se skládá ze dvou částí 1-2 a popisuje osvětlení jak vnitřních, tak venkovních pracovních prostorů. Konkrétně v této diplomové práci je rozebrána část první, protože definuje požadavky na vnitřní pracovní prostory, a to z hlediska zrakové pohody a zrakového výkonu osob s normálním zrakem. Na konci této kapitoly jsou znázorněny hodnoty zaměřující se na téma diplomové práce. Ta se v praktické části vztahuje na svítidla firmy Doublepower!! s.r.o., což jsou svítidla instalována v průmyslových halách, logistických skladů a areálu. Dále se firma zabývá osvětlením sportovišť a stadiónu. Pro projektanta, který navrhuje osvětlení je potřeba splnit kvalitativní a kvantitativní požadavky. Mezi základní tři požadavky lidských potřeb na osvětlení patří: zraková pohoda, zrakový výkon a především bezpečnost. Světelné prostředí je určeno parametry: [15]

- rozložení jasu,
- oslnění,
- směrovost svítidla, osvětlení ve vnitřním prostoru,
- osvětlenost,
- všeobecný index podání barev a tón světla,
- úroveň a barvy světla,
- míhání světla.

Rozložení jasu výrazně ovlivňuje viditelnost úkolu a zrakovou pohodu. Díky tomu je potřeba brát v úvahu činitele odrazů ploch. Ve většině případů se interiér stěn místnosti volí světlých odstínů. Pro strop se doporučuje odraznost v rozmezí 0,7 – 0,9, stěny v rozsahu 0,5 – 0,8 a podlahy 0,2 – 0,4.

Oslnění je nepříjemný jev, který je potřeba eliminovat. Vzniká jasnými povrchy v zorném poli. Oslnění lze dělit na dva druhy. Prvním je oslnění rušivé UGR, které se hodnotí tabulkovou metodou a vychází ze vzorce:

$$UGR = 8 \log_{10} \left(\frac{0,25}{L_B} \sum \frac{L \cdot \omega^2}{p^2} \right) \quad (3.1)$$

kde L_B – jas pozadí, L – jas svítidla v zorném poli pozorovatele, ω – prostorový úhel v zorném poli pozorovatele, p – činitel polohy podle Gutha. Druhým typem oslnění je omezení oslnění cloněním.

Tento problém se řeší například vhodným cloněním světelných zdrojů a světlíků. Úhel clonění je znázorněn v kapitole 2.3. Minimální úhly jsou v tabulce níže.

Tabulka 1 Minimální úhly clonění svítidel pro specifikované jasy světelných zdrojů [15]

Jas světelného zdroje ($\text{kcd} \cdot \text{m}^{-2}$)	Minimální úhel clonění $\alpha(^{\circ})$
20 až <50	15
50 až <500	20
≥ 500	30

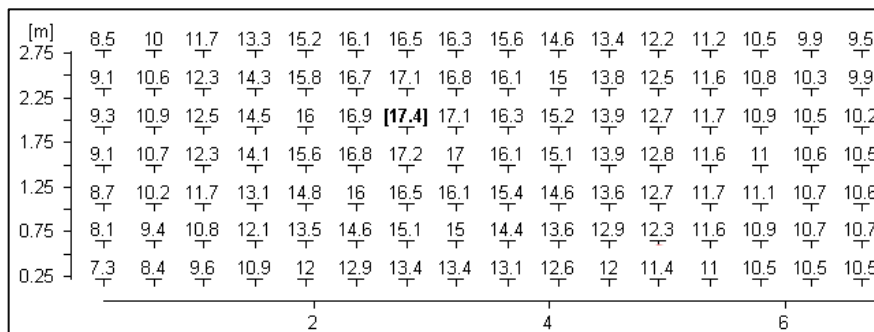
Osvětlenost má výrazný vliv na zrakový výkon. Má vliv na rychlost a bezpečnost osoby vnímat daný úkol. Řada osvětlenosti podle EN 12665 se doporučuje (v luxech):

20 – 30 – 50 – 75 – 100 – 150 – 200 – 300 – 500 – 750 – 1000 – 1500 – 2000 – 3000 – 5000.

Není-li znám typ zrakového úkolu, projektant odhaduje typ a stanovuje vhodné parametry. Dále v rámci osvětlenosti se vyhodnocuje jeho rovnoměrnost. Nedostatek rovnoměrnosti osvětlení může kompenzovat částečně denní světlo. Síť kontrolních bodů, se kterou pracují výpočetní programy slouží k výpočtu a kontrole hodnot osvětlení. Maximální rozměr buňky je dán vztahem:

$$p = 0,2 \cdot 5^{\log d} \quad (3.2)$$

a hodnota p (-) je rovna nebo menší než 10. Používá se při výpočtu okraj sítě 0,5 m. Rozteče bodů by se neměla shodovat s roztečí svítidel.



Obrázek 16 Náhodná síť bodů vyhodnocena programem Dialux

Hlediska barev lze charakterizovat barevným tónem světla a indexem podání barev. Barevný tón světla se vztahuje k náhradní teplotě chromatičnosti (kapitola 2.1 *Parametry světelných zdrojů*). Index podání barev je taktéž popsán v kapitole 2.1 *Parametry světelných zdrojů*.

Míhání světla vyvolává nepříjemný pocit a může způsobit například bolest hlavy. Projektant musí osvětlovací soustavu navrhnout tak, aby bylo zabráněno vzniku míhání a stroboskopickým jevům.

Udržovací činitel MF je nutno uvažovat a výslednou osvětlovací soustavu tímto činitelem vynásobit. Závisí na provozních podmínkách, údržbě a charakteristice světelného zdroje. Projektant je povinen uvést veškeré okolnosti při odvození hodnoty. Dále musí uvažovat při výpočtech plán údržby,

výměnu světelných zdrojů a provedení místnosti (zasklení). Hodnota má velký vliv na energetickou náročnost. Přínos denního světla může mít značný vliv na energetické úspory. Další úsporou se dosáhne například zlepšením údržbových plánů a využití regulace osvětlovací soustavy. [15]

Tabulka 2 Výroba a opravy vozidel [15]

Ref. číslo	Druh prostoru, úkolu nebo činnosti	\bar{E}_m lx	UGR_L –	U_o –	R_a –	Specifické požadavky
5.24.1	svařovna a montáž	500	22	0,6	80	
5.24.2	lakování, lakovací box, broušící box	750	22	0,7	80	
5.24.3	lakování: úpravy laku, kontrola	1000	19	0,7	90	$4000\text{ K} \leq T_{CP} \leq 6500\text{ K}$
5.24.4	čalounění	1000	19	0,7	80	
5.24.5	výstupní kontrola	1000	19	0,7	80	
5.24.6	celkový servis vozidel, opravy a testování	300	22	0,6	80	zvážit místní osvětlení

Tabulka 3 Skladové prostory a chladírny [15]

Ref. číslo	Druh prostoru, úkolu nebo činnosti	\bar{E}_m lx	UGR_L –	U_o –	R_a –	Specifické požadavky
5.4.1	skladiště a zásobárny	100	25	0,4	60	200 lx při trvalém pobytu osob
5.4.2	expedice a balírny	300	25	0,6	60	

Tabulka 4 Elektrotechnický průmysl [15]

Ref. číslo	Druh prostoru, úkolu nebo činnosti	\bar{E}_m lx	UGR_L –	U_o –	R_a –	Specifické požadavky
5.11.1	výroba kabelů a drátů	300	25	0,6	80	
5.11.2	navíjení					
	– velkých cívek	300	25	0,6	80	
	– středních cívek	500	22	0,6	80	
	– malých cívek	700	19	0,7	80	
5.11.3	impregnace vinutí	300	25	0,6	80	
5.11.4	galvanické (elektrolytické) pokovování	300	25	0,6	80	
5.11.5	montážní práce					
	– hrubé, např. velké transformátor	300	25	0,6	80	
	– střední, např. vypínače	500	22	0,6	80	
	– jemné, např. telefony	750	19	0,7	80	
	– velmi jemné, např. měřicí přístroje	1000	16	0,7	80	
5.11.6	elektronické dílny, zkoušení, justování	1500	16	0,7	80	

Zmíněná firma Doublepower!! aplikovala své svítidlo SKY do průmyslové haly firmy BRUSH SEM, což je největší nezávislý výrobce turbogenerátorů s technicky velmi náročným provozem nejen

v ČR, ale i v zahraničí. V obráběcí hale firmy je zvýšená prašnost a teplota, výpary z obráběcích center a zvýšená teplota okolí. Z toho důvodů je v hodné uvést níže i normativní hodnoty pro elektrotechnický průmysl a prostory sloužící pro výrobu a zpracování kovů.

Tabulka 5 Výroba a zpracování kovů [15]

Ref. číslo	Druh prostoru, úkolu nebo činnosti	\bar{E}_m lx	UGR_L –	U_o –	R_a –	Specifické požadavky
5.18.1	volné kování	200	25	0,6	80	
5.18.2	zápustkové kování	300	25	0,6	80	
5.18.3	svařování	300	25	0,6	80	
5.18.4	hrubé a střední strojní opracování tolerance $\geq 0,1$ mm	300	22	0,6	80	
5.18.5	jemné strojní opracování, broušení: tolerance $< 0,1$ mm	500	19	0,7	80	
5.18.6	orýsování, kontrola	750	19	0,7	80	
5.18.7	tažárna drátů a trubek za studena	300	25	0,6	80	
5.18.8	zpracování tlustých plechů: tloušťka ≥ 5 mm	200	25	0,6	80	
5.18.9	zpracování tenkých plechů: tloušťka < 5 mm	300	22	0,6	80	
5.18.10	výroba nářadí a rezných nástrojů	750	19	0,7	80	
5.18.11	montážní práce: – hrubé – střední – jemné – velmi jemné	200	25	0,6	80	
		300	25	0,6	80	
		500	22	0,6	80	
		750	19	0,7	80	
5.18.12	galvanizace	300	25	0,6	80	
5.18.13	povrchové opracování a lakování	750	25	0,7	80	
5.18.14	výroba nářadí, šablon a přípravků, jemná mechanika a mikromechanika	1000	19	0,7	80	

3.2 Výpočetní metody pro návrhy vnitřních osvětlovacích soustav

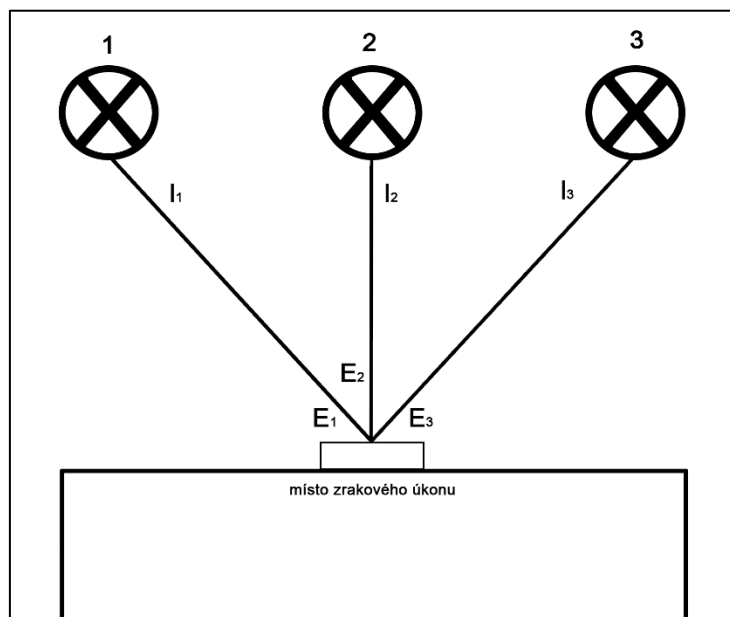
Cílem výpočtu je nutné určit výkon a počet světelných zdrojů. Z toho pak vychází instalovaný příkon osvětlovací soustavy řešeného prostoru. Mezi základní metody světelně-technických výpočtů patří metoda bodová a toková. Obě metody nejsou univerzální, protože mají svá určitá omezení.

Bodová metoda

Tato metoda umožňuje výpočet v každém bodě pozorovaného prostoru. Neuvažuje se při běžném výpočtu vliv odrazů světelných toků. Bodová metoda se aplikuje ve vnitřním prostoru pouze tehdy, je-li možné zanedbat zmíněné odrazy světelných toků. Lze tedy říci, že metoda má především využití u venkovního osvětlení, popřípadě v místnosti s nízkou odrazností povrchů. Veškeré bodové metody vychází ze základního fyzikálního vzorce: [1]

$$E = \frac{I}{l^2} \quad (3.3)$$

kde I (cd) je svítivost ve směru bodového svítidla. Vzdálenost bodu od svítidla je označována l (m). Osvětlenost v bodě ve směru spojnice E (lx). Pro zjištění horizontální složky je vhodné použít vzorec dle rovnice 2.2. V tomto případě je však vztah indexován pro případ většího počtu svítidel.



Obrázek 17 Příklad bodové metody třech svítidel

Pro výpočet celkové osvětlenosti v místě zrakového úkonu je nutné vypočítat osvětlenost jednotlivých svítidel. Osvětlenost bodového svítidla č. 1:

$$E_1 = \frac{I_\gamma \cdot \cos \beta}{l_1^2} \quad (3.4)$$

Platí zde čtvercův a kosinův zákon. Délka l udává vzdálenost od bodového zdroje, I_γ udává svítivost bodového zdroje, β je úhel dopadu paprsků. Celková osvětlenost E_c je dána součtem všech tří jednotlivých osvětleností (E_1 , E_2 a E_3):

$$E_c = E_1 + E_2 + E_3 \quad (3.5)$$

Nejedná se o finální hodnotu. Osvětlovací soustavu je poté potřeba přepočítat udržovacím činitelem.

Numerickou integraci (metoda dělení) lze zařadit do bodové metody a provádí se rozdělením světelného zdroje na elementární části. Poté je možné tyto části uvažovat jako bodové zdroje. Norma ČSN EN 12464-1 definuje, kolikrát musí být menší největší rozměr bodového zdroje než vzdálenost od bodu výpočtu, aby bylo možné ho považovat za takovýto zdroj. V praxi je vhodné volit větší číslo kvůli přesnosti a délce výpočtu. Nazývá se dělicím poměrem. [1]

Další části bodové metody může být například analytický integrace (integrální charakteristiky). Provádí se pomocí plošné integrace dílčích příspěvků elementárních částí svítidla. Metodu lze použít pouze tehdy, je-li známa křivka svítivosti. Na základě toho se určí, zda je možné ji integrovat. V praxi se využívá polynom goniometrických funkcí. Tyto funkce jsou poté nazvané jako integrální charakteristiky. Metoda integrálních charakteristik je rychlá, neboť každé svítidlo se vypočítá pouze

jedním cyklem. Nevýhoda spočívá ve složitosti cyklu. Předpokládá se konstantní svítivost všech světelných zdrojů, což platí i pro již zmíněnou numerickou integraci (metodu dělení). [1]

Toková metoda

Tato metoda vychází z průměrné hladiny osvětlenosti srovnávací roviny. Na základě této metody je možné určit potřebný počet svítidel a jejich typ. Tokovou metodou lze označit i jako účinnostní metodu, kterou dle základního fyzikálního vztahu je možné vyjádřit jako: [1]

$$E = \frac{\Phi}{S} \quad (3.6)$$

Na rozdíl od bodové metody se zde uvažují mnohonásobné odrazy světelného toku, tudíž je metoda uplatitelná především ve vnitřních prostorech. Základní vztah pro výpočet instalovaného světelného toku potřebného pro vnitřní prostor:

$$\Phi_z = \frac{E_m \cdot A}{z \cdot \eta_E} = \frac{E_{m0} \cdot A}{\eta_E} \quad (3.7)$$

E_m – udržovaná osvětlenost (lx), A – velikost osvětlované plochy (m^2), η_E – činitel využití, z – udržovací činitel, E_{m0} – počáteční průměrná hladina osvětlenosti srovnávací roviny (lx). Počet potřebných svítidel do řešeného prostoru lze zjistit, podělí-li se potřebný instalovaný světelný tok tokem zdrojů umístěných v jednom svítidle. Poté se daný výsledek zaokrouhlí v závislosti na rozmístění svítidel v prostoru. Díky tomuto kroku se změní již vypočítaná hodnota Φ_z a je potřeba provést kontrolu, zda je dodržena požadovaná osvětlenost dle vztahu: [1]

$$E_m = \frac{\Phi_z \cdot \eta_E \cdot z}{A} \quad (3.8)$$

Mezi tokové metody lze zahrnout odhadní účinnostní metodu, která se používá pro rychlý odhad. Do výpočtu se stanoví hodnota účinnosti okolo 0,3, tudíž z toho důvodu se jedná o odhadní metodu. Nemá okrajové podmínky a aplikace je možná pouze se správným stanovením hodnoty účinnosti. [1]

Postup výpočtů

Cílem výpočtu je zjistit, jaké rozmístění svítidel, typ svítidel a jaký instalovaný příkon je potřeba v místnosti zvolit tak, aby instalace vyhovovala požadavkům investora a normě. V prvním kroku se stanoví velikost půdorysu plochy a výška srovnávací roviny. V závislosti na typu místnosti, pro kterou se osvětlovací soustava řeší se určí velikosti požadované osvětlenosti podle normy ČSN. Poté se zvolí vhodný typ světelného zdroje a typ svítidla z katalogového listu. V dalším kroku se určí světelný tok jednoho svítidla a činitel využití osvětlovací soustavy. Ten závisí na fotometrické ploše svítivosti, rozměrech prostoru a odrazech (hodnota činitele například z tabulek). Dále se definuje udržovací činitel (míra stárnutí, znečištění apod.), provede se vhodné rozmístění svítidel dle pravidel pro rozmístění svítidel. Pro počet svítidel se stanoví místně průměrná a časově minimální osvětlenost. [10]

4 Technický rozbor LED svítidel

Všeobecně pro světelné zdroje platí, že jsou velmi důležitým prvkem osvětlovací soustavy ovlivňující spotřebu elektrické energie. Z toho důvodu je nutno sledovat hlavní parametry. Mezi ně patří měrný výkon, doba života, index podání barev, stmívání a rozměry. Parametry lze rozdělit na kvantitativní a kvalitativní. Do kvantitativních parametrů lze zařadit vyzařovaný světelný tok a elektrický příkon. Z hlediska porovnávání světelných zdrojů je důležitý měrný výkon. Tyto kvantitativní parametry jsou důležité pro projektanty a uživatele. Stanoví-li se celkový příkon osvětlovací soustavy, poté je možné určit spotřebu elektrické energie. Mezi kvalitativní parametry patří délka života světelného zdroje, index podání barev a stálost světelně-technických parametrů. Další skupinou jsou mechanické vlastnosti. Zde lze hovořit o geometrických rozměrech, tvaru a hmotnosti světelného zdroje. Poté jakým způsobem je možné upravit světelný tok, popřípadě řešit otázku jeho distribuce. Kapitola č.4 je díky tomu rozšířená o podkapitoly elektrických, optických a mechanických vlastností konkrétně pro světelné zdroje (LED).

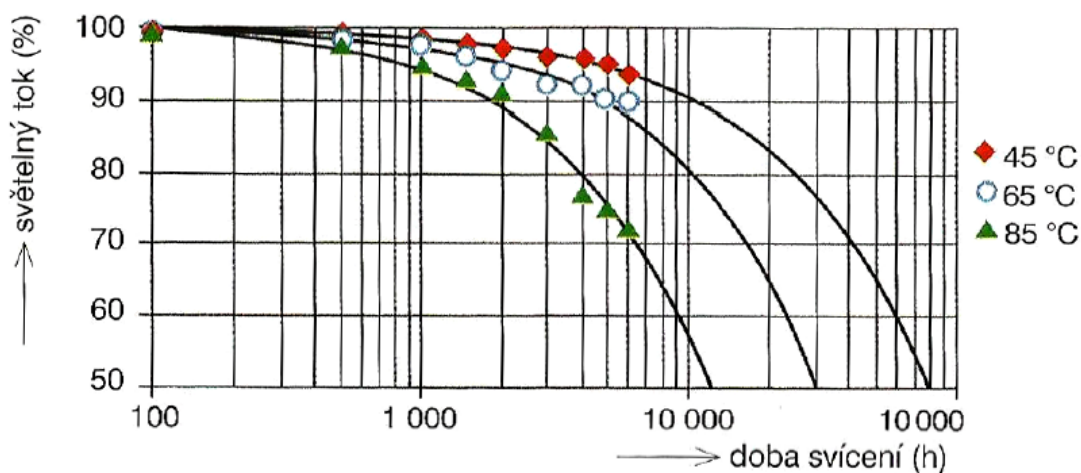
Světelné diody se postupně ve světě rozšiřují díky jejich rostoucímu měrnému výkonu. Dnes je možné se na trhu setkat s diody všech barev, se třemi čipy v jednom pouzdře nebo také kombinaci vhodných barev pro vytvoření bílé složky. Klasické LED slouží k signalizaci za účelem orientačního osvětlení a tvorby reklam. Dále je lze aplikovat jakožto kontrolky nebo třetí brzdomové světlo automobilu. Výkonové LED slouží především k osvětlování (doprava, iluminace, průmysl). Pro obecné osvětlování lze využívat pouze LED s bílou barvou světla. Nastávají zde dvě omezení. První je dáno teplotou PN přechodu, kdy dochází k poklesu světelného toku a míra závisí na barvě diody. Druhé omezení se týká maximálního příkonu, což značně ovlivňuje světelný tok. Tento problém je možné řešit použitím většího počtu světelných zdrojů.

4.1 Elektrotechnické vlastnosti

Při připojení světelného zdroje do elektrické sítě je potřeba vhodně upravit parametry el. energie pro provoz. Příkon světelného zdroje je možné definovat jako elektrický příkon odebíraný ze sítě. Je potřeбен pro správnou funkci světelných zdrojů a k pokrytí vzniklých ztrát v předřadných přístrojích. Využívá se tedy pro provoz elektronických předřadníků, které tím zajistí světelnému zdroji nejen správnou funkci, ale i prodloužení doby životnosti. Pro regulaci světelného toku se zde využívají vstupy pro stmívače, světelná čidla a analogové komunikační standarty nebo DALI sběrnice. Nejnovější předřadníky (drivery) jsou schopny chránit čipy proti zkratu a přetížení. Popřípadě reagovat na překročení provozní teploty, což má velký vliv na dobu životnosti. Dosáhne-li LED nežádoucí teploty, dokáže ochrana zátěž odpojit, čímž je čip chráněn a nedojde k jeho poškození. Výhodou použití elektronických předřadníků jsou: [16]

- eliminace stroboskopického jevu,
- zvýšení životnosti,
- není potřeba kompenzace,
- úspora elektrické energie,
- eliminace rušivého zvuku předřadníku a chvění.

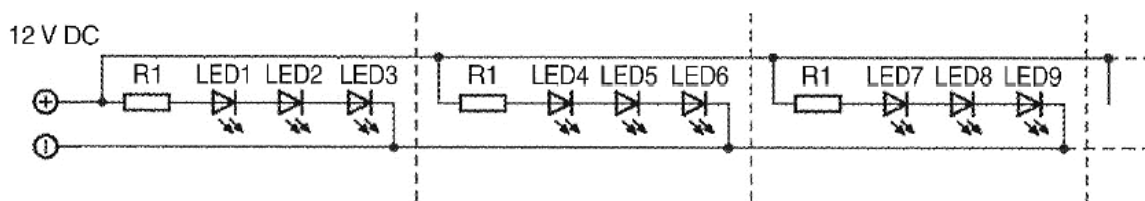
Dnes je možné se setkat s předřadníky určené pro zářivky, výbojkové zdroje. Dále proudové předřadníky pro LED a předřadníky pro řízení prvků svítidel celé osvětlovací soustavy. Na čip světelné diody je potřeba připojit stejnosměrné napětí tak, aby proud způsobil emitaci požadovaný světelný tok z PN přechodu. Z hlediska napájení světelných diod je možné využít napěťového a proudového zdroje.



Obrázek 18 Závislost světelného toku na době životnosti vzhledem k provozní teplotě [16]

Napěťový zdroj

Napěťový zdroj je vhodný pro jednoduché zapojení kdy se předřazuje rezistorem pro snížení elektrického proudu tekoucího diodou. Nevýhodou je, že rezistor musí být dle použité LED a napájecího napětí přesně dimenzován. Při kolísání napětí se následně mění elektrický proud, což způsobuje flickr (míhání světla). Další nevýhodou je snížená účinnost, neboť je energie přeměněna v tepelnou energii. Napěťový zdroj spolu s předřadným rezistor je možné využít například u LED pásků. Rezistor je sériově spojen s určitým počtem LED a následně je paralelní spojení se zdrojem. [16]



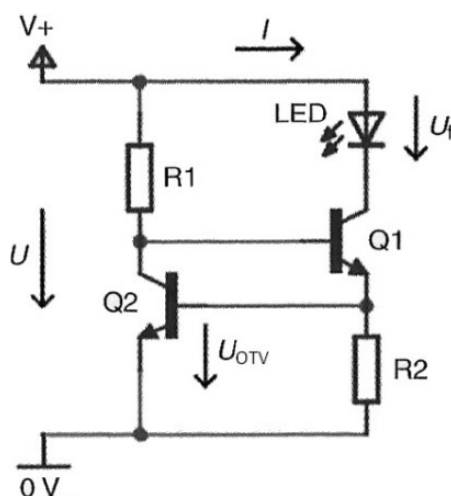
Obrázek 19 Sérioparalelní zapojení napěťového zdroje s předřadným rezistorem [16]

Proudový zdroj

Propracovanějším typem je využití proudového zdroje, generující přesný elektrický proud nezávislý na elektrickém napětí a úbytku na LED. Výstupní hodnota elektrického proudu zdroje je v rozmezí 30 mA – 1400 mA pro výkonové diody. Nejběžnější je však rozsah 350 mA – 700 mA. Maximální hodnota výstupního napětí zdroje definuje maximálně použitelný počet zapojených diod. Tyto diody se spojují sériově.

Jednoduché zapojení viz. obrázek níže znázorňuje, že při průchodu proudu světelnou diodou, tranzistorem Q_1 a rezistorem R_2 na tomto rezistoru zároveň způsobí úbytek napětí. Díky tomu je otevřen

tranzistor Q_2 (v závislosti na velikosti proudu) a přivřen tranzistor Q_1 . Vyznačené napětí U_{OTV} je potřebné k otevření Q_2 . Poté elektrický proud tekoucí diodou klesne na žádanou hodnotu. Podílem napětí U_{OTV} a hodnotou R_2 lze získat ustálený proud zdroje. [16]



Obrázek 20 Schéma zapojení proudového zdroje [16]

Stmívání LED

Stmívání světelných diod se díky strmosti V-A charakteristiky provádí regulací proudu tekoucího diodou. Světelný tok je v pracovní oblasti v rozsahu 0 % - 100 %. V kapitole 2.2 *Princip funkce LED* je zobrazena V-A charakteristika, z které je možné určit, že díky strmosti není vhodné LED regulovat změnou napětí. Stmívání lze provádět pomocí proudového zdroje a PWM (pulzně šířková modulace). Použitím proudového zdroje se světelný tok reguluje změnou amplitudy výstupního proudu. Proto je potřeba regulovatelný zdroj. Pomocí pulzně šířkové modulace se stmívání provádí spínáním proudu v časových okamžicích. Průběh proudu má obdélníkový tvar při maximální a nulové hodnotě. Poměr těchto dvou stavů je pak výsledný proud (střída signálu). Při volbě například čtvrtinového proudu je výstupní proud střídá 25 %. Aby nedocházelo k flikru, je potřeba volit frekvenci vyšší než 100 Hz. [16]

Objímky a svorkovnice

Přivedení elektrické energie ke světelnému zdroji se provádí pomocí vodičů a objímek. Objímka se volí dle typu patice. Pro závitové objímky se využívá například patice E14, E27 atd. Patice E27 má větší závit než patice E14. Označení E27 lze vidět již u vyřazených klasických vláknových žárovek nebo u LED žárovek. Typ E14 má menší zastoupení než E27. Bajonetové patice jsou označovány například jako B15 a B22, zářivkové jako G5 a G13 a mezi kolíkové patří označení G23, G24, G7 atd. Je možné patice rozdělit na šroubované a zásuvné. Pro bodová slouží například GU10. [1]



Obrázek 21 Základní druhy patic [21]

Svorkovnice slouží k připojení přívodních vodičů a jsou součástí elektrických zařízení. Dnes svorkovnice svítidel umožňují beznástrojové připojení. V průmyslových halách je provedení svorkovnic konstruováno tak, aby mohlo dojít k jednoduché a rychlé výměně. Zde je například právě uplatnění již zmíněných beznástrojových svorkovnic. [1]



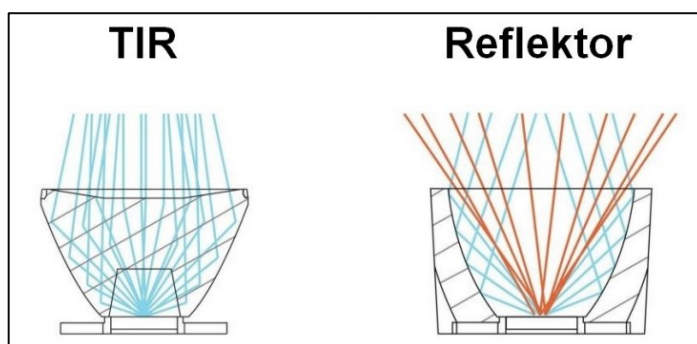
Obrázek 22 Bezšroubová čtyřpólová svorkovnice pro svítidla z polykarbonátu [22]

4.2 Optické vlastnosti

Optika je jedním z nejdůležitějších prvků osvětlení. Úkolem je vyzařované světlo zaostřovat, tvarovat a mísit. Díky tomu je možné dosáhnout nejefektivnějšího měrného výkonu svítidla. Světelné diody využívají primární i sekundární optiku. Dále optický systém svítidla slouží k usměrnění světelného toku, čímž se mění charakter křivky svítivosti, dochází k úpravě omezení oslnění a filtraci světelného toku. Filtrace světelného toku se provádí pomocí světelně aktivních ploch (optických prvků). Zde patří reflektor, refraktor, rozptylovač nebo jejich kombinace. [1] [20]

Primární a sekundární optika

Primární optika má za úkol dosáhnout co největší světelný výkon. Tato optika může tvarově tvořit kopuli a je zabudovaná přímo do samotné světelné diody. Sekundární optika je tvořena TIR (Total Internal Reflection) čočky nebo reflektory. Čočky TIR jsou umístěny uvnitř reflektoru. Mohou být kuželovitého tvaru a účinnost díky nim může dosáhnout až 92 %. Taková to čočka způsobí usměrnění světla ze středu světelného zdroje na reflektor, který světlo vyše do řízeného paprsku. Provedení bez těchto čoček se samotným reflektorem má neblahý vliv na oslnění – světlo nemusí vždy zasáhnout parabolický reflektor. [20]



Obrázek 23 Porovnání paprsků TIR čoček a reflektoru [20]

Reflektor

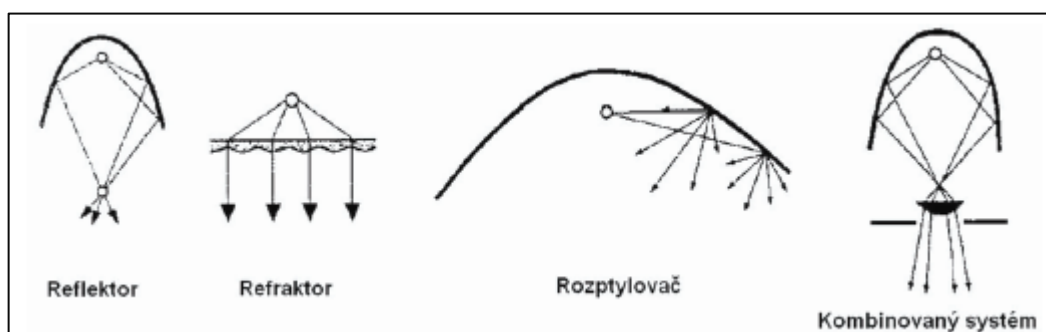
Rozklad světelného toku pomocí zrcadlového odrazu využívá reflektor, kde účinnost svítidla může dosahovat až 95 %. Materiálem je slitina hliníku potažena kovy s povrchovou úpravou pro zrcadlový odraz. Hliník je nejen plně recyklovatelný, ale dá se tvarovatelně přizpůsobit požadovanému tvaru odrazné plochy. Má velmi dobrou tepelnou vodivost. Toho se využívá pro odvod tepla od zdroje. Hliník má také odolnost vůči vnějším vlivům. [1]

Refraktor

Další změnou rozložení světelného toku se provádí pomocí zákona lomu. K tomu se využívá refraktor nejčastěji vyráběný ze skla. V praxi prostup záření sklem způsobí částečný odraz a také k lomu záření. Je-li tenká vrstva skla, je možné odraz s lomem ztotožnit. Se zvyšující se vrstvou je jejich rozdíl větší. [1]

Difuzor

Posledním základním optickým prvkem je difuzor. Ten způsobuje rozptyl světelného toku odrazem nebo prostupem a vyzařuje jako rovnoměrně rozptýlená plocha. Vhodnou volbou materiálu difuzoru je sklo kvůli propustnosti a odolnosti vůči UV záření, aby nedocházelo k degradaci materiálu difuzoru. To má za následek snížení účinnosti. [1]



Obrázek 24 Základní optické prvky [1]

Mezi optické části svítidel patří:

- Mřížky
- Prizma kryty
- Optiky
- Reflektory

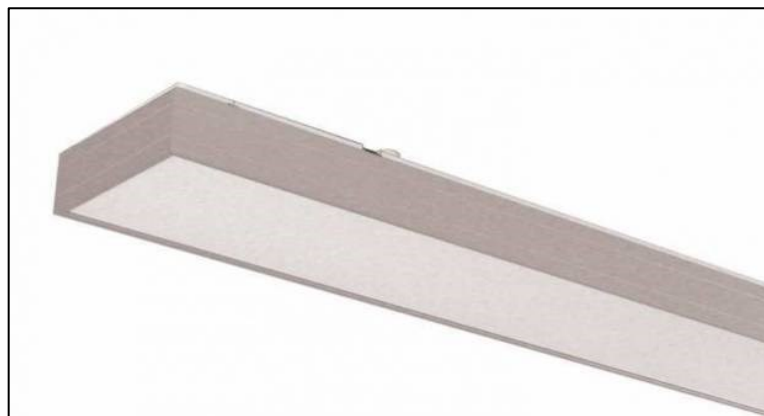
Mřížky

Dnes se mřížky vyrábějí především z hliníku ve tvaru paraboly nebo klínovitý. Dalším materiálem může být pokovaný plast nebo materiál tomu podobný. Mřížka ve tvaru paraboly umožňuje směřovat paprsek směrem dolů na srovnávací rovinu, což je první funkcí parabolického typu. Druhou funkcí je zakrýt světelný zdroj. Dále musí snížit nebo zamezit oslnění a tím i jasy. Tento typ způsobuje lamelovitý tvar světelných křivek. Využití je především v kancelářských a obchodních prostor. Je-li mřížka z matného materiálu, tak dochází ke snížení účinnosti, avšak vykazuje menší oslnění oproti

lesklému. Lesklý povrch způsobuje téměř zrcadlový odraz záření od lamely parabolického tvaru. Matný povrch způsobí smíšený odraz. [14] [23]

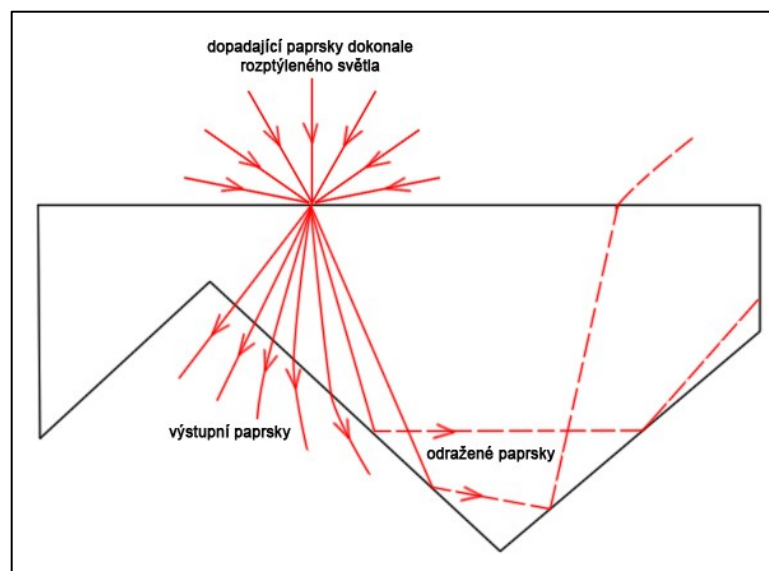
Prizma kryty

Prizma kryty se většinou vyrábí v provedení mikropyramidového nebo opálového typu. Opálový kryt je jednoduché čistit, tudíž najde své využití i v prašných prostorech. Účinnost LED svítidla je dána propustností krytu. Je-li kryt propustnější, tím svítidlo musí mít více světelných bodů. Díky tomu je světelný tok rovnoměrně rozptýlen po celé vyzařovací ploše.



Obrázek 25 Opálový kryt [17]

Mikropyramidový kryt je dnes možné nalézt u mikropismatického difuzoru. Jedná se o čirý difuzor a v kombinaci s mikropyramidovou strukturou je schopen omezit jasy do $1000 \text{ cd} / \text{m}^2$ nad 65° . Řeší také problém s jasy ve svítidlech, kde je problém instalovat optickou mřížku. [14] [23]



Obrázek 26 Princip mikropyramidového krytu [14]

Zrcadlový reflektor

U Svítidel se zrcadlovými reflektory závisí vlastnosti především na tvaru reflektoru a jeho odrazových vlastnostech. Materiál může být z hliníkové plechu, jenž je chemicky čistěn, nebo je vakuově

pokoven hliníkem. Využití je pro interiérové a exteriérové prostory. Výhodou je zde volba rozkladu světelného toku a jeho vysoká účinnost. Pro takovéto reflektory je pak účinnost dána vztahem:

$$\eta_{SV} = f_2 + \rho \cdot f_1 \quad (4.1)$$

kde f_1 označuje světelně činnou část difuzoru na který dopadá část záření, f_2 se týká svítidel s neuzavřeným difuzorem a záření zde prochází skrze otvor difuzoru, činitel odrazu ρ se vztahuje na vnitřní část difuzoru. [18]

Difuzní reflektor

Svítidla, ve kterých je instalován difuzní reflektor světelný tok vyzařuje celým svým vnitřním povrchem. Oproti zrcadlovým reflektorům je u těchto svítidel snížená účinnost (60 % - 80 %) díky několikanásobným odrazům uvnitř svítidla. Tento typ je vyráběn především z estetického hlediska u moderních svítidel. Výhodou je však nízká cena. Účinnost se vypočítá dle:

$$\eta_{SV} = f_2 + \rho \cdot f_1 \cdot \kappa \cdot \Psi \quad (4.2)$$

kde κ a Ψ značí ztráty několikanásobným odrazem. Ostatní veličiny jsou zmíněné viz. výše.

Refraktorový systém

Svítidla s refraktorovými systémy využívají lom světla na rozhraní dvou prostředí, což způsobují lámavé hranoly. Může se jednat o rozhraní prostředí vzduchu a skla. Odraz světla na vnější a vnitřní straně lámavých hranolů se podílí na účinnosti. Dalším ovlivňujícím faktorem je pohltivost v celé šířce refraktoru. Použití: světlomety. Účinnost může dosahovat až 85 %. [18]

Rozptylovač (difuzor)

Pro interiérové čisté prostory se světlými povrchy stěn lze využít svítidla s rozptylovači. Ty mohou být v provedení s uzavřeným či otevřeným difuzorem. Neuzavřený difuzor má vysokou účinnost, ale dochází k velkému oslnění v úhlu pozorovatele. Výhodou je jednoduchost provedení, tzn. že pořizovací cena je nízká. Účinnost výrazně závisí na optickém provedení difuzoru a lze ji vypočítat dle vztahu:

$$\eta_{SV} = f_2 + f_1 \cdot \kappa \cdot \tau + \rho \cdot f_1 \cdot \kappa \cdot \Psi \quad (4.3)$$

kde τ je činitel prostupu difuzoru, Ψ je činitel vazby povrchu s plochou difuzoru s plochou výstupního otvoru. Ostatní veličiny jsou již zminěny viz. výše. [18]

4.3 Mechanické vlastnosti

Korpus

Korpus svítidla byl v minulosti vyráběn přibližně z 85 % všech svítidel z plně recyklovatelného materiálu (především hliník). Dnes není otázkou, zda se k výrobě využije hliník nebo plast. Důležité je, aby daný materiál byl recyklovatelný. Výhodou je však využití hliníku pro výrobu korpusu, neboť poskytuje kvalitativní parametry po celou dobu životnosti svítidla. Po uplynutí doby životnosti lze plně recyklovat bez energetických nároků. To však pro plasty neplatí.

Plochý a vypouklý difuzor

U mechanických vlastností svítidla je nutno zmínit, v jakém případě a za jakých podmínek je vhodné instalovat svítidla s plochým sklem a vypouklým sklem (difuzorem). Z pohledu kvalitativních parametrů mají svítidla s plochým sklem vůči vypouklému sklu nižší účinnost a menší vyzařovací úhel. Projektant při návrh osvětlovací soustavy s plochým sklem svítidel musí volit menší rozteč stožárů nebo instalovat soustavu do větší výšky s výkonnějšími světelnými zdroji. Vliv má také prostředí, v kterém je soustava instalována. Dochází k odrazům od terénu a v exteriéru sice soustava s vypouklým sklem vyzáří část světelného toku směrem k obloze, ale díky lepšímu činiteli využití vyzářené světlo odkázano k odrazu od terénu je vyprodukováno v menší míře. Soustava s plochým sklem nemusí vždy řešit problematiku rušivého světla a výrazně zhoršuje schopnost optického vedení řidiče (řidič není včas informován o stavu vozovky a jeho prostředí). Je to tím, že součet přímé a nepřímé složky pro vypouklé sklo je menší než odražená složka u plochého skla. Dále není pravidlem, že ploché sklo omezuje oslnění. Nutno říct, že kapitola se vztahuje na provedení s tvrzeným sklem. Pro antireflexní provedení jsou vlastnosti odlišné. [28]



Obrázek 27 Svítidlo s vypouklým sklem (vlevo) a plochým sklem (vpravo) [28]

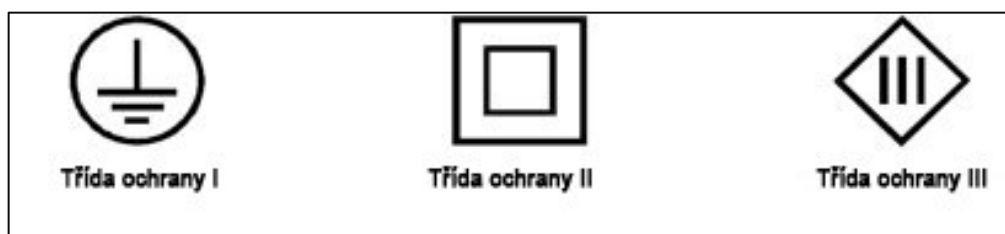
Bude-li oko pozorovatele nad svítidlem s plochým sklem, tak nebude oslňován. Pokud pozorovatel stojí pod svítidlem a dívá se přímo do svítidla, pak bude určitě oslňován. To také záleží na tom, zda je difuzor zakrytý nebo nikoliv. Je-li difuzor na svítidle na obrázku vlevo rozptylný a rozměrný, tak oslnění nemusí nastat. Všeobecně oslnění je dáno velikostí adaptačního jasu. Čím je nižší, tím je oslnění vyšší, a naopak.

Geometrický rozměr

Geometrický rozměr světelného zdroje určuje vhodnost použití z hlediska prostoru ve svítidle. Jedná se o důležitý útvar, neboť změnou rozměrů dochází k posunutí ohniska ve svítidle. Díky tomu se následně mohou změnit parametry. Druhou funkcí geometrického rozměru je estetická stránka. Je nutné si uvědomit, že osvětlovací soustavy jsou dnes navrženy i z důvodu vizuálního vnímání. Informace o geometrickém rozměru je uveden v katalogovém listu nebo na obalu zdroje.

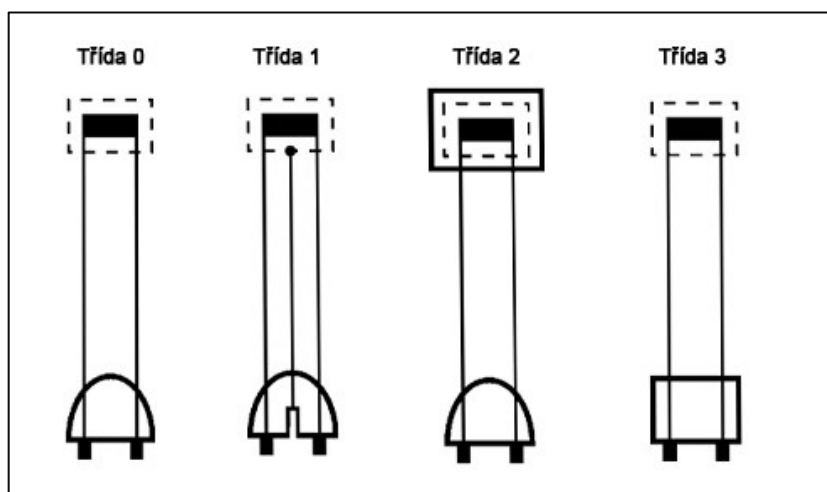
Třídy ochrany svítidel

Z hlediska bezpečnosti je potřeba zajistit ochranu před úrazem elektrickým proudem do základních tříd. Třída ochrany I je základní izolace, které se používá u kovových svítidel při nízkém napětí. Ochranný vodič se připojuje k místu označení uzemnění. Pohyblivý přívod je trojžilový. Tento způsob se vyskytuje u většiny svítidel. Třída ochrany II je přídavná nebo zesílená izolace, která se využívá i u celoplastových svítidel. Pro mechanickou pevnost můžou být části kovové. Tyto části jsou oddělené od živých částí právě dvojitou či zesílenou izolací. Pohyblivý přívod je dvoužilový. Třída ochrany III je určena pro připojení ke zdroji bezpečně malého napětí (typicky halogenové žárovky 12 V nebo LED). Připojení pouze k SELV nebo PELV zdrojům, oddělující spotřebič od sítě. Připojení pouze k jmenovitému napětí (nesmí přesáhnout 50 V střídavého nebo 120 V stejnosměrného napětí). Pohyblivý přívod je dvoužilový a opatřen nezáměnnou vidlicí.



Obrázek 28 Značení jednotlivých tříd

Zkratka SELV označuje bezpečné malé napětí (safety extra low voltage), kde ochrana je zajištěna omezením napětí v síti, ochranným oddělením od všech jiných obvodů SELV a PELV, dále jednoduchým oddělením od ostatních sítí SELV, PELV a od země. Je zakázáno úmyslně připojit neživé části k ochrannému vodiči nebo k zemi. Zkratka PELV označuje ochranné malé napětí (protective extra low voltage) a zajišťuje omezení napětí v obvodu, které může být uzemněno (i u neživých částech). Dále zajišťuje ochranným oddělením sítě PELV od všech ostatních obvodů jiných než SELV a PELV.



Obrázek 29 Schématické značky jednotlivých tříd [11]

Ochrana proti vniknutí cizích těles, prachu, vlhkosti a mechanickému poškození

Podstatná součást svítidla je jeho stupeň krytí. Označuje se IP spolu s dvojčíferným číslem, kde první číslo udává stupeň ochrany proti vniknutí cizích těles a dotykem. Nabývá hodnot od 0 do 6.

Tabulka 6 Ochrany proti dotyku a vniknutí cizích těles [3]

Stupeň krytí	Název krytí	Popis
IP0x	Bez ochrany	Bez zvláštní ochrany proti náhodnému dotyku s částmi
IP1x	Ochrana proti vniknutí cizích těles ≥ 50 mm	Ochrana proti náhodnému dotyku nebezpečných částí hřbetem ruky
IP2x	Ochrana proti vniknutí cizích těles $\geq 12,5$ mm	Ochrana proti náhodnému dotyku nebezpečných částí prstem
IP3x	Ochrana proti vniknutí cizích těles $\geq 2,5$ mm	Ochrana proti náhodnému dotyku nebezpečných částí nástrojem
IP4x	Ochrana proti vniknutí cizích těles ≥ 1 mm	Ochrana proti náhodnému dotyku nebezpečných částí drátem
IP5x	Ochrana proti vniknutí prachu – částečně	Ochrana proti náhodnému dotyku nebezpečných částí drátem
IP6x	Ochrana proti vniknutí prachu – úplně	Ochrana proti náhodnému dotyku nebezpečných částí drátem

Druhé číslo udává stupeň ochrany proti vniknutí vody. Nabývá hodnot od 0 až 9. Pro průmyslové prostory částečně prachotěsné svítidlo má například stupeň krytí IP54. Interiérové svítidlo má většinou stupeň krytí IP20, neboť je zde menší pravděpodobnost vniknutí cizích těles. Pro svítidla ve veřejném osvětlení (VO) je stupeň krytí IP65. To znamená, že svítidlo je úplně prachotěsné, je zde ochrana proti náhodnému dotyku nebezpečných částí drátem a ochrana proti tryskající vodě na zařízení ze všech směrů, které nesmí mít žádné škodlivé účinky na svítidlo. Při označení IPx6K se jedná o ochranu proti vysokotlakému čištění proudem páry a odpovídá normě DIN 40050-9. Přehled jednotlivých ochrany proti vniknutí vody je znázorněna níže v tabulce 7.

Občas je možné se setkat s označením, kdy za dvojmístným číslem se nachází dvě velká písmena (například IP23CH). Tyto dvě písmena jsou při značení nepovinná. První písmeno značí dodatečný údaj (A, B, C, D) a v podstatě rozšiřuje úroveň prvního číselného kódu. Druhé písmeno značí doplňkový údaj (H, M, S, W) a udává informaci o tom, jakým způsobem je ochrana proti vniknutí cizích těles rozšířená.

Ochrana proti mechanickému poškození krytu se značí IK. Za označením IK je číslo, které bývá v rozmezí od 0 do 10. Tato ochrana závisí na nárazové energii, které svítidlo vydrží, aniž by došlo k jeho poškození. Energie nárazu je v Joulech (J). Čím je tato energie větší, tím je stupeň proti mechanickému poškození krytu větší. Například pro energii nárazu 20 J bude stupeň IK10. K ověření ochrany proti mechanickému poškození je daný kryt podroben úderům. Mezi zkušební zařízení se využívá nejčastěji padající kladivo, palice nebo pružinový přístroj. Přehled jednotlivých ochrany proti mechanickému poškození krytu je znázorněno v tabulce 8. [1]

Tabulka 7 Ochrany proti vniknutí vody [3]

Stupeň krytí	Název krytí	Popis
IPx0	Bez ochrany	Bez zvláštní ochrany
IPx1	Ochrana proti svisle dopadajícím kapkám vody	Svisle dopadající kapky vody nesmí mít škodlivé účinky
IPx2	Ochrana proti kapkám vody dopadajícím pod úhlem do 15°	Kapky vody dopadající na zařízení z obou stran v libovolném směru pod úhlem max. 15° nesmí mít škodlivé účinky
IPx3	Ochrana proti stříkající vodě	Voda stříkající na zařízení v libovolném směru pod úhlem max. 60° nesmí mít škodlivé účinky
IPx4	Ochrana proti stříkající vodě	Voda stříkající na zařízení ze všech směrů nesmí mít škodlivé účinky
IPx5	Ochrana proti tryskající vodě	Proud vody z trysky ze všech směrů nesmí mít škodlivé účinky
IPx6	Ochrana proti silnému proudu tryskající vody	Silný proud vody ze všech směrů nesmí mít škodlivé účinky
IPx7	Ochrana proti přechodnému ponoření	Voda nesmí do zařízení vniknout v množství, které by bylo škodlivé, pokud je zařízení ponořeno ve vodě pod stanoveným tlakem a určitou dobu
IPx8	Ochrana proti trvalému ponoření	Voda nesmí vniknout do zařízení v množství, které by bylo škodlivé, pokud je zařízení trvale ponořeno ve vodě za podmínek, které musí být dohodnuty s výrobcem
IPx9K	Ochrana proti vysokotlakému čištění proudem páry	Voda dopadající na zařízení ve všech směrech pod velmi vysokým tlakem nesmí mít žádné škodlivé účinky. Tlak vody 100 bar. Teplota vody 80 °C

Tabulka 8 Stupeň krytí proti mechanickému poškození [4]

Stupeň IK	IK00	IK01	IK02	IK03	IK04	IK05	IK06	IK07	IK08	IK09	IK10
Energie nárazu (J)	*	0,15	0,2	0,35	0,5	0,7	1	2	5	10	20

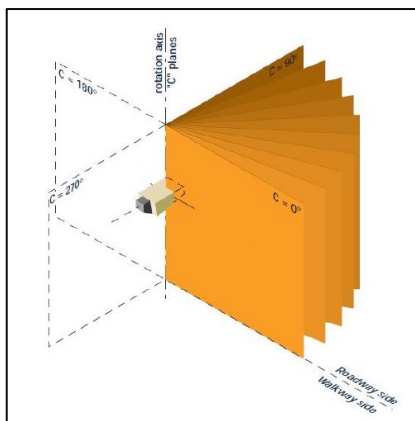
* nechráněno

5 Měření a porovnání svítidel

Kapitola 5 se vztahuje na porovnání změřených svítidel. Jak už byla zmíněna v kapitole 3.1 *Normativní požadavky pracovních prostorů* firma Doublepower!! s.r.o., se měření týká právě svítidel vyráběných touto firmou. Jedná se o svítidla instalována v průmyslových halách, logistických skladech a areálech. Dále se firma zabývá osvětlením sportovišť a stadiónu. Měření se provádělo v areálu kampusu VŠB-TUO v Porubě budovy TL (těžké laboratoře) v místnosti určené pro měření svítidel a světelných zdrojů. „*Prohlašuji, že jsem veškerá uvedená svítidla v praktické části změřil samostatně dne 16. 10. 2019.*“

Postup zpracování naměřených dat

Měření veličin svítidel bylo provedeno na fotometrické lavici v souladu s normou ČSN 36 0013. Neplatná norma není nahrazena. Vzdálenost čidla luxmetru od světelného středu svítidla činila 8,94 metrů. Křivky svítivosti byly změřeny v rovinách C0, C30, C60 a C90 viz. obrázek níže. Odečtena hodnota napájecího napětí byla $230\text{ V} \pm 0,5\text{ V}$. Veškerá měření jsou provedena po ustálení světelných a tepelných parametrů zdrojů.



Obrázek 30 Schématické znázornění měření svítidel [1]

Zapůjčené svítidlo se umístěno na fotometrickou lavici, které bylo potřeba vycentrovalo tak, aby jeho světelně činná plocha byla uprostřed fotometrické lavice. Jelikož se tato lavice natáčí do jednotlivých rovin, je nutné svítidlo pevně ukotvit. Pomocí softwaru se lavice natáčela v úhlech $+90^\circ$ až -90° pro jednu roviny a hodnoty se zapisovaly do textového formátu vždy po kroku 5° . Poté se zaměnila rovina z C0 na C30 a následně byly zapsány další hodnoty. Výstup z textového souboru definoval osvětlenost E (lx) v jednotlivých úhlech. Data se následně exportovala do Excelu. V něm se zároveň definovaly konstrukční, elektrické a optické parametry:

- délka, šířka a výška svítidla,
- délka a šířka optiky (popřípadě výška optiky v rovinách),
- teplota chromatičnosti a index podání barev,
- symetrizace v rovinách,
- fotometrická vzdálenost mezi svítidlem a čidlem luxmetru,
- napětí a proud zdroje, účinník,
- typ zdroje a počet zdrojů ve svítidle.

Výstupem Excelového souboru je poté výsledná křivka svítivosti v rovinách C0, C30, C60, C90 a dále údaje nutné k vytvoření LDT souboru. Soubor LDT je potřebný pro vložení dat změřeného svítidla do výpočtového softwaru (Dialux, Relux).

5.1 Průmyslové svítidla Doublepower!! v provozu

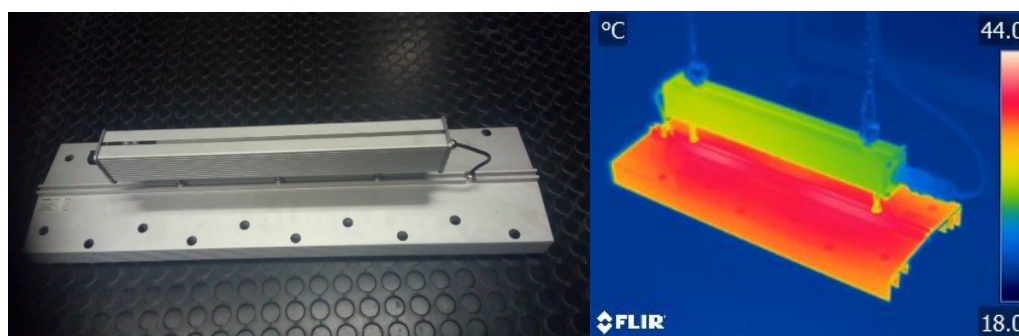
Firma Doublepower!! poskytla v rámci diplomové práce tři svítidla, které jsou již zařazeny v provozu. První dvě se týkají přímo firmy, která je nejen prodává na svém internetovém obchodě, ale tyto produkty i zároveň vyrábí. Jedná se o typ SKY 120 W a TREE LED 35 W. Třetí svítidlo se na Doublepower!! nevztahuje. Ze štítkových hodnot však lze usoudit, že výrobcem je firma ELOB systems s.r.o., jejíž produkt je označen pod názvem LED High Bay.

5.1.1 Svítidlo Doublepower!! SKY 120 W

Jedná se o vysoce účinné svítidlo díky svému konstrukčnímu uspořádání i do těch nejnáročnějších průmyslových podmínek. Pro dosažení vyšších hodnot světelného toku je možné na svítidlo namontovat větší počet modulů obsahující LED čipy. V diplomové práci je řešeno svítidlo obsahující 3 moduly. Na každém z nich je 12 LED čipů. Hmotnost je 3,2 kg.

Tabulka 9 Parametry svítidla SKY 120 W

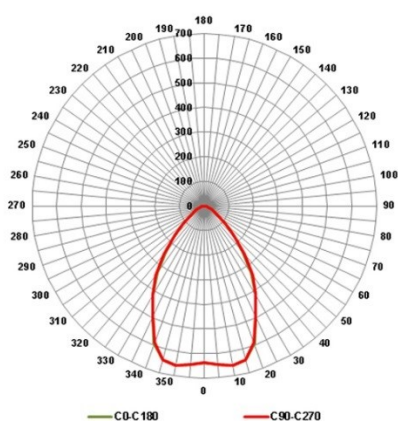
Elektrické parametry		Mechanické parametry	
Napájecí napětí	230 V \pm 0,5 V	Délka svítidla	750 mm
Elektrický proud	0,53 A	Šířka svítidla	200 mm
Celkový příkon	118,24 W	Výška svítidla	160 mm
Účinník	0,97	Počet zdrojů	1
Optické parametry		Ostatní parametry	
Délka optiky	450 mm	Fotometrická vzdálenost	8,95 m
Šířka optiky	50 mm	Typ zdroje	LED
Výška optiky C0-C90	-	Teplota chromatičnosti	4 000 K
Výška optiky C180-C270	-	Index podání barev	> 80



Obrázek 31 Svítidlo SKY 120 W a teplotní managment [26]

Všeobecně firma Doublepower!! klade velký důraz na chlazení, neboť provozní teplota ovlivňuje nejen životnost, ale i výkon svítidla. Důvodem je předpoklad umístění i do průmyslových hal s vysokou okolní teplotou se značným znečištěním.

Pro tento typ svítidla je například možnost použít plynulé regulace DALI / DSI či možnost zapojení do komplexního řídicího systému Doublepower!! DALI / KNX. Výhodou je jednoduchá instalace díky flexibilním instalačním bodům a konektoru GESIS. Teplotní rozsah, v kterém se může provozovat je $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tělo je tvořeno taženým eloxovaným hliníkovým materiálem. Tím se dosahuje efektivního odvodu tepla. Čím jsou provozní teploty nižší, tím se docílí vyšší životnosti komponentů. Životnost svítidla i elektroniky překračuje 100 000 hodin (při dodržení teplotního rozsahu). Stupeň krytí je IP65. [26]



Obrázek 32 Změřené křivky svítivosti svítidla SKY 120 W

Ze změřených křivek svítivosti lze vidět, že rovina C0-C180 a C90-C270 jsou totožné. Světelný tok svítidla je 14 790 lm. Měrný výkon činí 125 lm / W. Při měření mohlo dojít k parazitním odrazům od předmětů. Tudíž zde vznikají chyby měření, které je však možné zanedbat. Z konstrukčního uspořádání se dá usoudit, že svítidlo nemusí vyhovovat z hlediska jasů. Optika bez difuzoru totiž značně způsobuje oslnění v úhlu pozorovatele (viz. kapitola 4.2 *Optické vlastnosti*) a nemusí tak splňovat normativní požadavky.

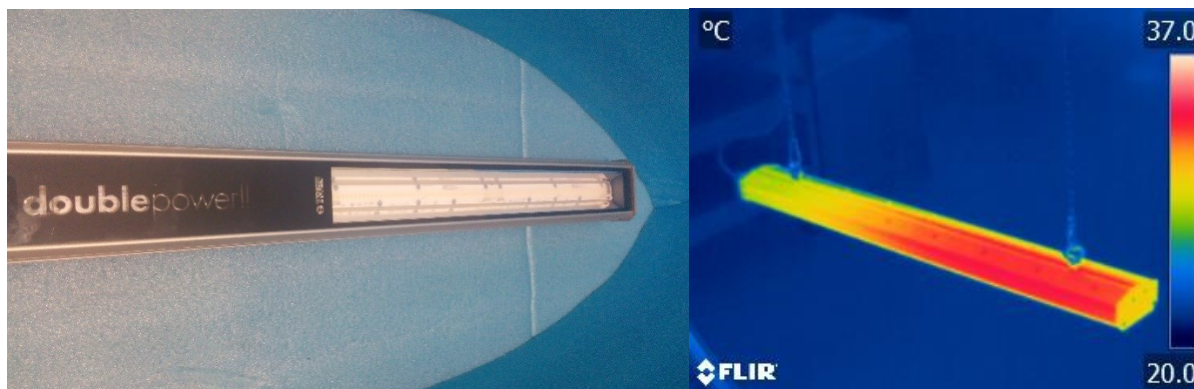
5.1.2 Svítidlo Doublepower!! TREE LED 35 W

Jedná se o úsporné průmyslové svítidlo, jehož přední kryt je vyroben z tvrzeného borosilikátového skla. Stupeň krytí je IP65. Provozní teploty jsou zde v rozmezí $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+65\text{ }^{\circ}\text{C}$. Životnost stejně jako u svítidla SKY 120 W přesahuje 100 000 hodin. Hmotnost je 3,7 kg. [26]

Tabulka 10 Parametry svítidla TREE LED 35 W

Elektrické parametry		Mechanické parametry	
Napájecí napětí	230 V \pm 0,5 V	Délka svítidla	910 mm
Elektrický proud	0,16 A	Šířka svítidla	100 mm
Celkový příkon	35 W	Výška svítidla	60 mm
Účinník	0,95	Počet zdrojů	1
Optické parametry		Ostatní parametry	
Délka optiky	570 mm	Fotometrická vzdálenost	8,95 m
Šířka optiky	60 mm	Typ zdroje	LED
Výška optiky C0-C90	-	Teplota chromatičnosti	neuvedeno
Výška optiky C180-C270	-	Index podání barev	> 80

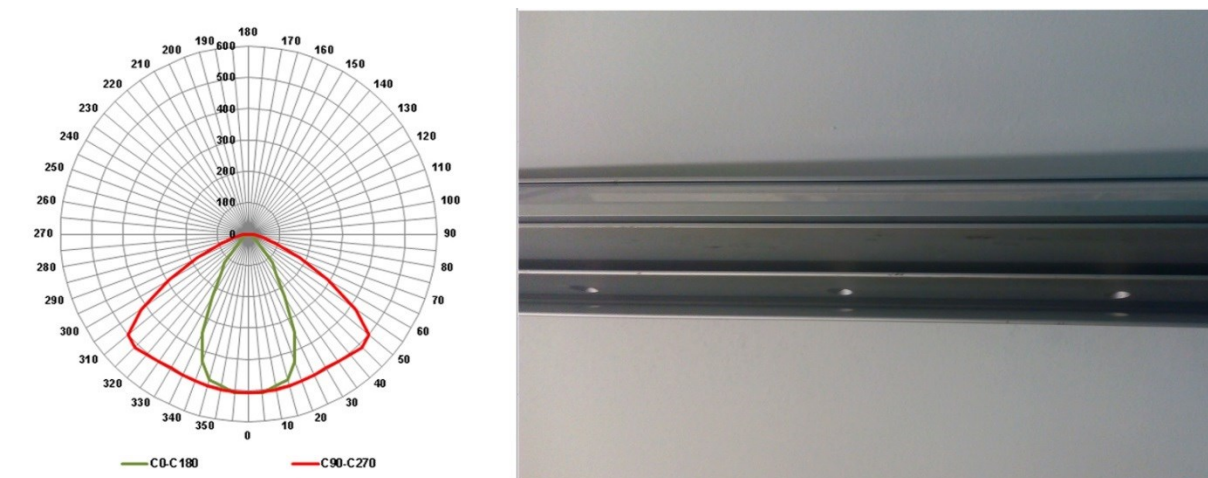
Při aplikaci ve velmi vysokých teplotách je zachována maximální účinnost zdroje, protože je zde důkladně lepená speciální teplovodivá páska za účelem efektivního chlazení. Díky tomu nevznikají nežádoucí bubliny řádově ve velikosti milimetrů. Ty jsou schopny způsobit vypálení čipu během pár měsíců provozu. Tělo je navíc opatřeno eloxem a vytvoří tak kompaktní vrstvu oxidu, což se projeví na chemické odolnosti kovu a jsou tak zvýšeny jak mechanické, tak i chemické vlastnosti svítidla. [26]



Obrázek 33 Svítidlo TREE LED 35 W a teplotní managment [26]

Dále je zde možnost plynulé regulace DALI / DSI a zapojení do komplexního řídicího systému Doublepower!! DALI / KNX (stejně jako u svítidla SKY 120 W). Svítidlo TREE LED 35 W je vhodné instalovat do obchodních center a sportovních areálů (zimní stadion, haly). Dále je to lehký průmysl, skladové prostory a velmi vysoké montážní výšky (až 30 metrů). Provedení těla a jeho povrchová úprava kovu umožňuje aplikovat svítidlo do extrémně prašného a agresivního prostředí, popřípadě do prostředí s velmi vysokou teplotou okolí. [26]

Tvarování chladících žebër efektivně umožňuje odvod tepla ze světelného zdroje. Ze změřených křivek svítivosti je vidět, že rovina C90-C270 má širokou distribuci světelného toku. Svítidlo TREE LED 35 W má hlouběji instalovány LED čipy do těla. Spolu s optikou a plochou reflektorů se dosahuje vyšších hodnot oslnění. Světelný tok byl změřen na hodnotě 4 436 lumenů. Měrný výkon svítidla je dopočítán a činí 127 lm / W. [26]



Obrázek 34 Změřené křivky svítivosti a žebrování svítidla TREE LED 35 W

5.1.3 Svítidlo ELOB systems LED High Bay

Jedná se o svítidlo, které již není uvedeno na trhu. Bližší informace výrobce neposkytuje, a proto je nutné vycházet pouze ze štítkových hodnot. Zde je uveden výrobce, název svítidla, typ světelného zdroje, náhradní teplota chromatičnosti, napájecí rozsah napětí a příkon. Hmotnost je 6,2 kg

Tabulka 11 Parametry svítidla LED High Bay

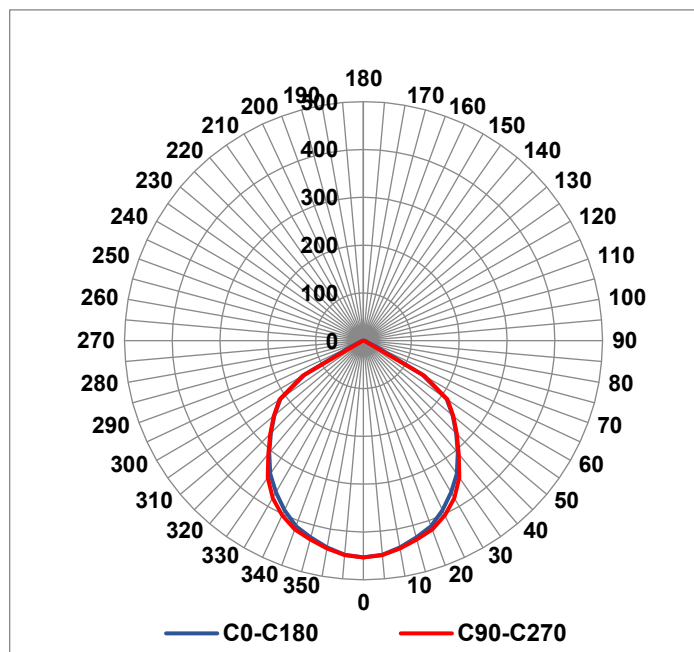
Elektrické parametry		Mechanické parametry	
Napájecí napětí	230 V \pm 0,5 V	Délka svítidla	520 mm
Elektrický proud	0,66 A	Šířka svítidla	520 mm
Celkový příkon	148,8 W	Výška svítidla	350 mm
Účinník	0,98	Počet zdrojů	1
Optické parametry		Ostatní parametry	
Délka optiky	120 mm	Fotometrická vzdálenost	8,95 m
Šířka optiky	120 mm	Typ zdroje	LED
Výška optiky C0-C90	-	Teplota chromatičnosti	6000
Výška optiky C180-C270	-	Index podání barev	> 80

Z konstrukčního hlediska je možné říci, že umístění velkého chladiče na svítidle je z důvodu značného přehřívání. Při měření docházelo k silnému oslnění v úhlu pozorovatele. Optika je tvořena LED čipem čtvercového tvaru. K němu je přišroubován vypouklý difuzor o rozměru 120 mm x 120 mm. Náhradní teplota chromatičnosti 6000 K vybudí větší zrakový výkon – jedná se o chladnější odstín. Podobný typ z hlediska konstrukce je možné vidět ve vysokých starších průmyslových halách.



Obrázek 35 Svítidlo LED High Bay

Z obrázku lze určit, že optika svítidla je symetrická ve všech rovinách. Změřená hodnota světelného toku svítidla je 13 566 lumenů. Spolu s příkonem je dopočítán měrný výkon. Ten činí 91 lm / W. Distribuce světelného toku pod úhlem 60° je příčinou hliníkového rámu a vypouklým difuzorem (viz. obr. výše).



Obrázek 36 Křivky svítivosti svítidla LED High Bay

5.1.4 Porovnání svítidel uvedených v provozu

Z výsledných křivek svítivosti je vidět, že nejširší distribuci světelného toku dosahuje svítidlo TREE LED 35 W. Oproti tomu svítidlo SKY 120 W má úzkou vyzařovací charakteristiku, a tudíž dominantně vyzařuje ve směru přímém. Poslední LED High Bay má charakteristiku téměř kruhového tvaru. Vzniklé chyby měření jsou zapříčiněny nežádoucími odrazy od předmětů, avšak nepřesnosti nejsou větších rozměrů, a tudíž je lze zanedbat.

Integrací se získá celkový světelný tok svítidla (popřípadě světelného zdroje) a ten se následně podělí příkonem svítidla (viz. kapitola 2.1. *Parametry světelných zdrojů*). Tento parametr se značně podílí na spotřebě elektrické energie.

SKY 120 W:

$$\eta = \frac{\Phi}{P} = \frac{14790}{118,24} = 125 \text{ lm/W} \quad (5.1.1)$$

TREE LED 35 W:

$$\eta = \frac{\Phi}{P} = \frac{4436}{35} = 127 \text{ lm/W} \quad (5.1.2)$$

LED High Bay:

$$\eta = \frac{\Phi}{P} = \frac{13566}{148,8} = 91 \text{ lm/W} \quad (5.1.3)$$

Z rovnic je možné vidět, že největší měrný výkon dosahuje svítidlo TREE LED 35 W i přes fakt, že má nejmenší světelný tok. Díky tomu je označováno jako velmi úsporné svítidlo. Oproti tomu energeticky náročnější je svítidlo LED High Bay. Zároveň jeho velký příkon značně snižuje hodnotu měrného výkonu.

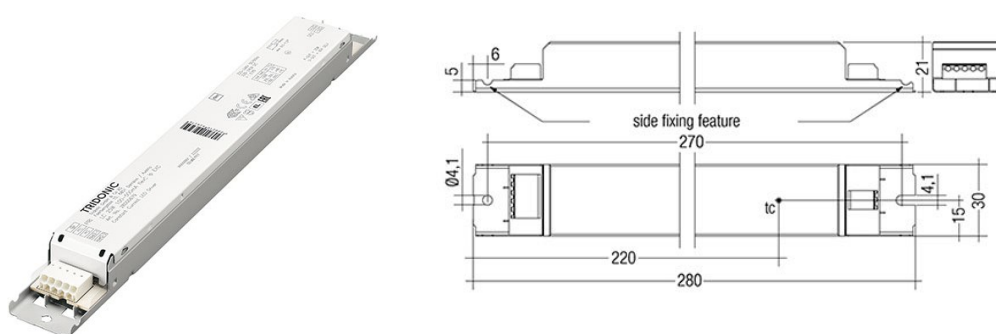
Všechny tři svítidla mají světelný zdroj typu LED a jejich všeobecný index podání barev dosahuje hodnot vyšších než 80. Náhradní teplota chromatičnosti LED High Bay dosahuje hodnot 6000 K až 6500 K. Jedná se tedy o chladnější odstín, což může způsobovat únavu očí. V obývacím pokoji rodinných domů je vhodná náhradní teplota chromatičnosti v rozmezí 2700 K až 3000 K. Díky tomu vzniká zraková pohoda. Svítidlo SKY 120 W má hodnotu 4000 K – bílý odstín.

5.2 Tubusové vzorky Doublepower!!

Nově firma Doublepower!! vyrobila a testuje tubusové vzorky. Tyto nové vzorky byly zaslány v říjnu roku 2019 k měření do laboratoře VŠB-TUO. Jelikož nejsou zařazeny v provozu, nemají tedy oficiální název, a tudíž jsou částečně označeny jako sample 1 až 5 s dodatkem. Vzorky se měří stejným způsobem jako předchozí průmyslová svítidla a výstupem měření jsou jejich křivky svítivosti. Z měření se výsledky porovnají a následně stanoví jejich ideální využití v praxi. Při měření byly použity následující přístroje.

- Luxmetr Mavolux Digital:
 - rozsah 20 lx ÷ 200 klx, výrobní číslo 18120, Specifikace $\pm(2,5 \% \text{ MH} + 1 \text{ D} + \text{max } 3 \% \text{ sonda})$.
- Voltmetr FL 21:
 - rozsah 150 V ÷ 600 V, výrobní číslo 9105833, třída přesnosti 0,2 %.

Předřadníky použité v těchto modelech jsou od firmy Tridonic GmbH & Co KG vyráběné v Rakousku. Konkrétně se jedná o typ LC 25 W flexC Ip EXC s nastavitelným výstupním proudem v rozmezí od 100 mA – 500 mA pomocí konektorů Ready2mains Programmer nebo I-SELECT 2, který se poté udržuje na konstantní hodnotě. Používá se pro svítidla třídy ochrany I a třídy ochrany II. Jak už samotný název napovídá, maximální výstupní výkon je 25 W. Účinnosti se zde dosahuje do 87 %. Životnost činná až 100 000 hodin a stupeň krytí je IP20. Tento typ předřadníku obsahuje ochranné prvky proti přehřátí, zkratu a přetížení. Výhodou je úspora elektrické energie díky vysoké účinnosti a dále jednoduchá konfigurace rozhraní ready2mains (konfigurace přes síť). [27]



Obrázek 37 Předřadník Tridonic LC 25 W flexC IP EXC [27]

Doplňkový údaj vzorku označen zkratkou PC vyjadřuje polykarbonát. Jedná se o plast, který se při úderu nerozbije, ale vrátí se pružností do původního tvaru. Musí mít UV stabilizaci, aby v exteriéru tento materiál nezměnil svůj stav či strukturu působením slunečního záření. Označením PC MAT je myšlen matný polykarbonát. Všeobecně polykarbonát zajišťuje vysoký stupeň IK.

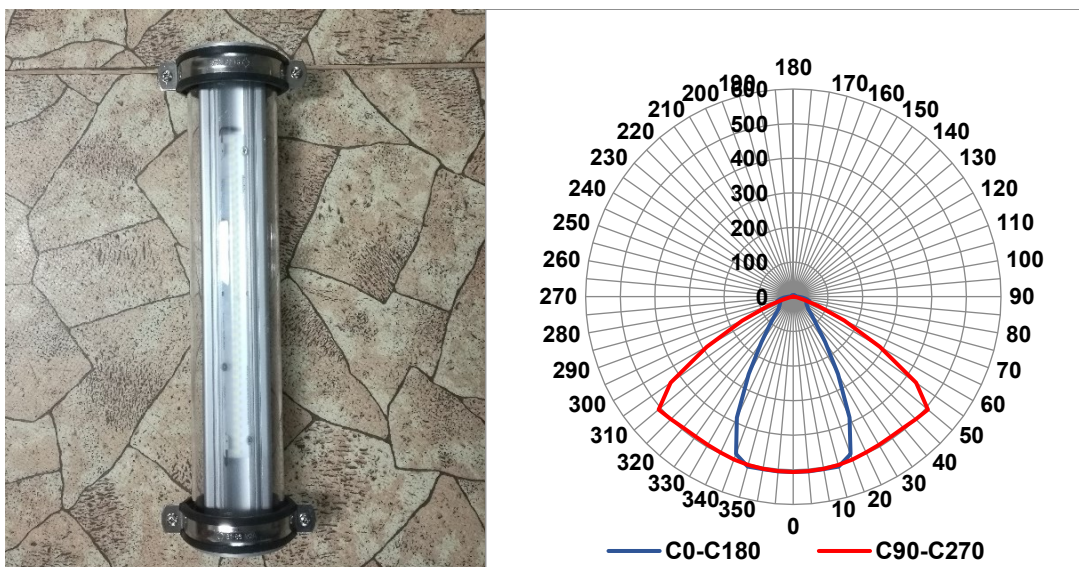
5.2.1 Sample 1 – SEA 16 W PC Clear

V tabulce jsou uvedeny vstupní parametry tubusového vzorku SEA 16 W PC Clear. Při měření byla fotometrická vzdálenost 4,965 metrů. Integrací světelného toku byla zjištěna celková hodnota 2190 lumenů. Štítkový údaj uveden na vzorku značí vyzařovací úhel do 60°.

Tabulka 12 Sample 1 - vstupní parametry

Elektrické parametry		Mechanické parametry	
Napájecí napětí	230 V \pm 0,5 V	Délka svítidla	400 mm
Elektrický proud	0,07 A	Šířka svítidla	85 mm
Celkový příkon	14 W	Výška svítidla	85 mm
Účinník	0,87	Počet zdrojů	1
Optické parametry		Ostatní parametry	
Délka optiky	350 mm	Fotometrická vzdálenost	4,965 m
Šířka optiky	42,5 mm	Typ zdroje	LED
Výška optiky C0-C90	42,5 mm	Teplota chromatičnosti	4000
Výška optiky C180-C270	42,5 mm	Index podání barev	> 80

Stupeň krytí tubus je IP68. To znamená, že je produkt úplně prachotěsný a odolný vůči trvalému ponoření (voda nesmí vniknout do zařízení v množství, které by bylo škodlivé, pokud je zařízení trvale ponořeno ve vodě za podmínek, které musí být dohodnuty s výrobcem). Typ konektoru je Wieland GESIS 5S. Světelný zdroj LED bez bližší specifikace. Aby vyfocený vzorek na obrázku níže odpovídal křivce svítivosti, musí být na fotografii otočen o 90°!



Obrázek 38 Sample 1 - svítidlo a křivky svítivosti C0-C180 a C90-C270

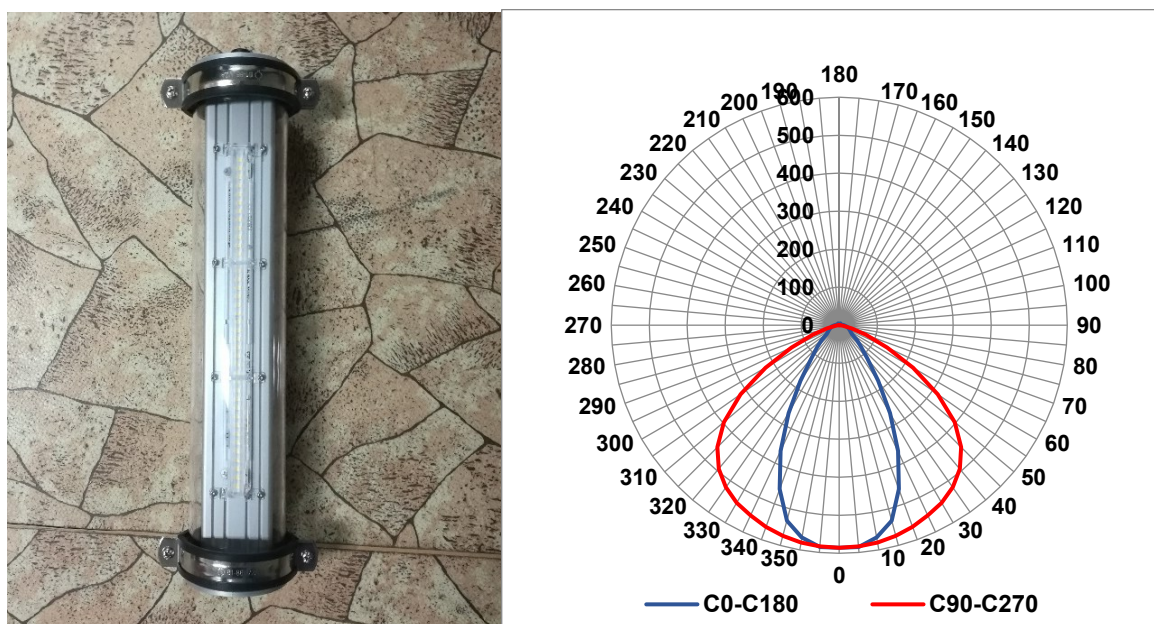
5.2.2 Sample 2 – SEA 16 W LEDIL PC Clear

V tabulce jsou uvedeny vstupní parametry tubusového vzorku SEA 16 W LEDIL PC Clear. Při měření byla fotometrická vzdálenost 4,965 metrů a integrací světelného toku byla zjištěna celková hodnota 2144 lumenů. Štítkový údaj není na vzorku uveden.

Tabulka 13 Sample 2 - vstupní parametry

Elektrické parametry		Mechanické parametry	
Napájecí napětí	230 V \pm 0,5 V	Délka svítidla	400 mm
Elektrický proud	0,07 A	Šířka svítidla	85 mm
Celkový příkon	14 W	Výška svítidla	85 mm
Účinník	0,87	Počet zdrojů	1
Optické parametry		Ostatní parametry	
Délka optiky	350 mm	Fotometrická vzdálenost	4,965 m
Šířka optiky	42,5 mm	Typ zdroje	LED
Výška optiky C0-C90	42,5 mm	Teplota chromatičnosti	4000
Výška optiky C180-C270	42,5 mm	Index podání barev	> 80

Tabulka uvedena výše je totožná s hodnotami vstupních parametrů vzorku 1 - SEA 16 W PC Clear, avšak hodnota světelného toku je odlišná. To může být způsobeno optickým uspořádáním tubusu, což je možné vidět z obrázku 39. Důvodem odlišné křivky svítivosti je především to, že Sample 2 má LED čipy nekryty uvnitř tubusu. Typ konektoru je Wieland GESIS 5S. Světelný zdroj LED bez bližší specifikace.



Obrázek 39 Sample 2 - svítidlo a křivky svítivosti C0-C180 a C90-C270

5.2.3 Sample 3 – SEA 16 W BB PC Clear

V tabulce jsou uvedeny vstupní parametry tubusového vzorku SEA 16 W BB PC Clear. Při měření byla fotometrická vzdálenost 4,965 metrů. Integraci světelného toku byla zjištěna celková hodnota 1841 lumenů. Šítkový údaj není uveden. Tento typ vzorku je oproti předešlým odlišný svým konstrukčním uspořádáním. Tubus je z druhé strany opatřen síťovým hliníkovým krytem.

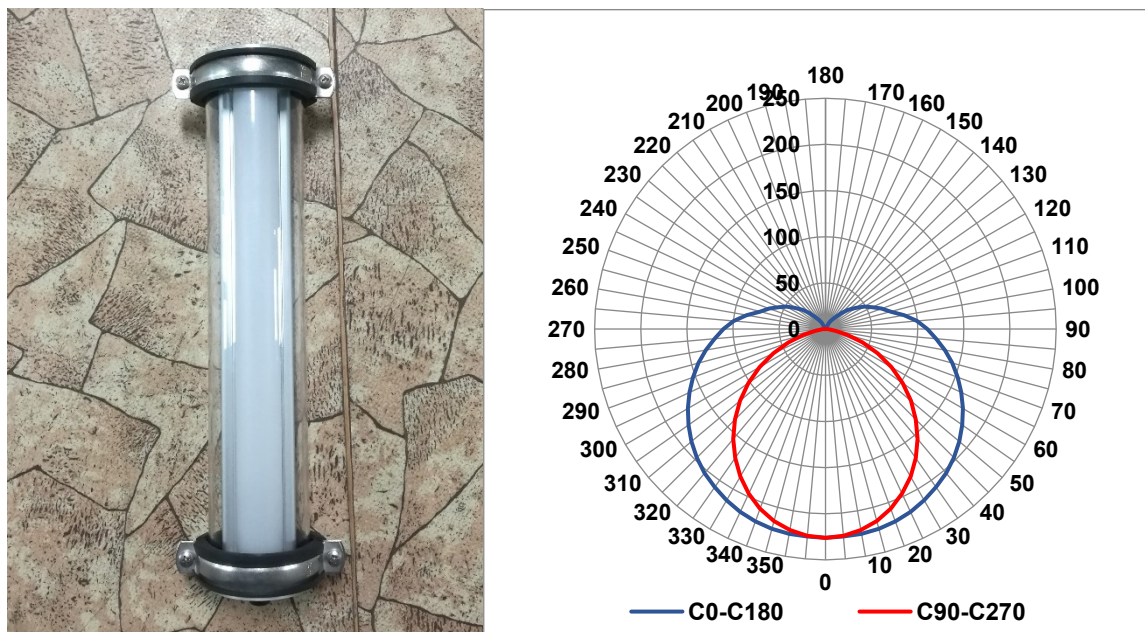
Tabulka 14 Sample 3 - vstupní parametry

Elektrické parametry		Mechanické parametry	
Napájecí napětí	230 V \pm 0,5 V	Délka svítidla	400 mm
Elektrický proud	0,07 A	Šířka svítidla	85 mm
Celkový příkon	14 W	Výška svítidla	85 mm
Účinník	0,87	Počet zdrojů	1
Optické parametry		Ostatní parametry	
Délka optiky	350 mm	Fotometrická vzdálenost	4,965 m
Šířka optiky	42,5 mm	Typ zdroje	LED
Výška optiky C0-C90	42,5 mm	Teplota chromatičnosti	4000
Výška optiky C180-C270	42,5 mm	Index podání barev	> 80



Obrázek 40 Sample 3 - zadní optika

Křivky svítivosti znázorňují část světelného toku vyzařován za světelně činnou plochu. To způsobuje zadní optika. Ta se taktéž značně liší od předešlých modelů. LED čipy jsou opatřeny matným difuzorem a proto je celková hodna světelného toku podstatě nižší než u Sample 1 a 2. Typ konektoru je Wieland GESIS 5S. Světelný zdroj LED bez bližší specifikace.



Obrázek 41 Sample 3 - svítidlo a křivky svítivosti v C0-C180 a C90-C270

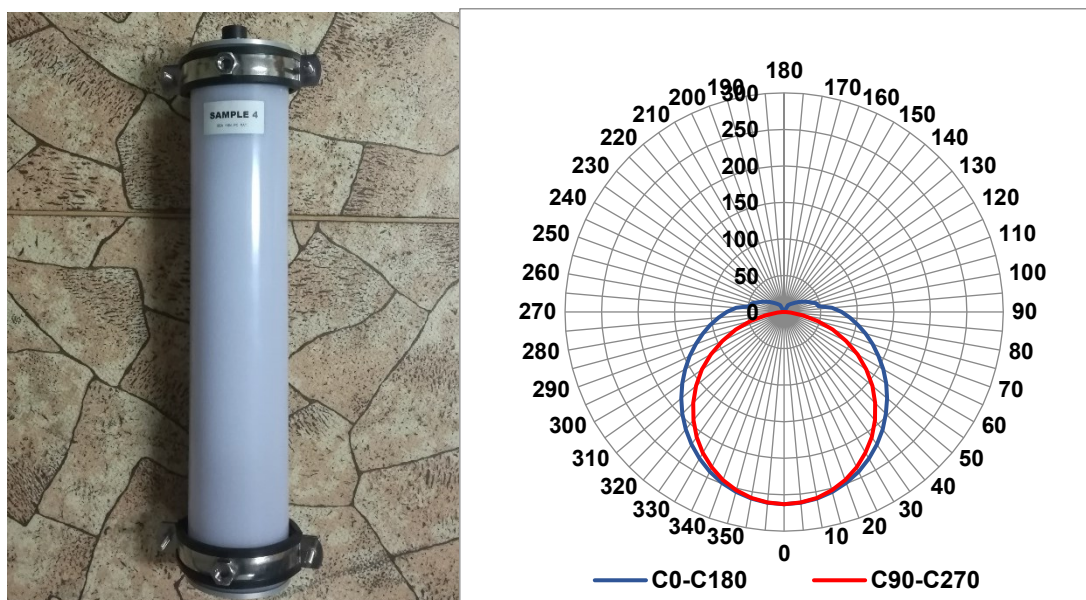
5.2.4 Sample 4 – SEA 16 W PC MAT

V tabulce jsou uvedeny vstupní parametry tubusového vzorku SEA 16 W PC MAT. Při měření byla fotometrická vzdálenost 4,965 metrů. Integraci světelného toku byla zjištěna celková hodnota 1328 lumenů. Štítkový údaj není na vzorku uveden.

Tabulka 15 Sample 4 - vstupní parametry

Elektrické parametry		Mechanické parametry	
Napájecí napětí	230 V \pm 0,5 V	Délka svítidla	400 mm
Elektrický proud	0,07 A	Šířka svítidla	85 mm
Celkový příkon	14 W	Výška svítidla	85 mm
Účinník	0,87	Počet zdrojů	1
Optické parametry		Ostatní parametry	
Délka optiky	350 mm	Fotometrická vzdálenost	4,965 m
Šířka optiky	42,5 mm	Typ zdroje	LED
Výška optiky C0-C90	42,5 mm	Teplota chromatičnosti	4000
Výška optiky C180-C270	42,5 mm	Index podání barev	> 80

Vzorek Sample 4 SEA 16 W PC MAT má matný povrch difuzoru po celém svém obsahu tubusu. Proto je hodnota světelného toku ještě nižší, než u vzorku 3, který má matný difuzor jen okolo LED čipů. Díky tomu se značně změní vyzařovací charakteristika a oproti předešlým modelům. Typ konektoru je Wieland GESIS 5S. Světelný zdroj LED bez bližší specifikace.



Obrázek 42 Sample 4 - svítidlo a křivky svítivosti v C0-C180 a C90-C270

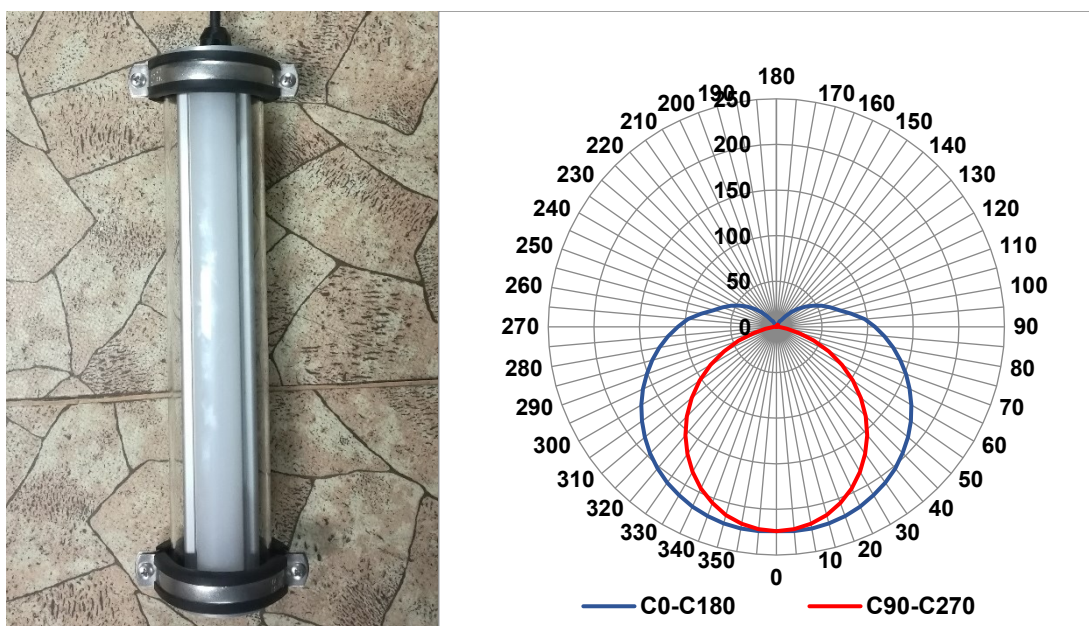
5.2.5 Sample 5 – SEA 16 W BB GLASS

V tabulce jsou uvedeny vstupní parametry tubusového vzorku SEA 16 W PC MAT. Při měření byla fotometrická vzdálenost 4,965 metrů. Integraci světelného toku byla zjištěna celková hodnota 1952 lumenů. Štítkový údaj není na vzorku uveden.

Tabulka 16 Sample 5 - vstupní parametry

Elektrické parametry		Mechanické parametry	
Napájecí napětí	230 V \pm 0,5 V	Délka svítidla	400 mm
Elektrický proud	0,07 A	Šířka svítidla	85 mm
Celkový příkon	14 W	Výška svítidla	85 mm
Účinník	0,87	Počet zdrojů	1
Optické parametry		Ostatní parametry	
Délka optiky	350 mm	Fotometrická vzdálenost	4,965 m
Šířka optiky	42,5 mm	Typ zdroje	LED
Výška optiky C0-C90	42,5 mm	Teplota chromatičnosti	4000
Výška optiky C180-C270	42,5 mm	Index podání barev	> 80

Vzorek 5 je na první pohled podle obrázku totožný se vzorkem 3. Křivky svítivosti jsou téměř totožné, avšak hodnota světelného toku je u vzorku 3 nižší. Oba tyto modely mají matný difuzor okolo LED čipů, ale liší se použitým sklem. Typ konektoru je Wieland GESIS 5S. Světelný zdroj LED bez bližší specifikace.



Obrázek 43 Sample 5 - svítidlo a křivky svítivosti v C0-C180 a C90-C270

5.2.6 Porovnání tubusových vzorků

Všechny tubusové vzorky mají stupeň krytí IP68 a obsahují světelný zdroj LED čipy bez bližší specifikace. Jejich všeobecný index podání barev je vyšší jak 80 a náhradní teplota chromatičnosti se pohybuje okolo 4000 K. Zároveň mají z hlediska konstrukce stejné rozměry jak svítidla, tak samotné optiky. Taktéž totožný je i typ napájecího konektoru Wieland GESIS 5S.

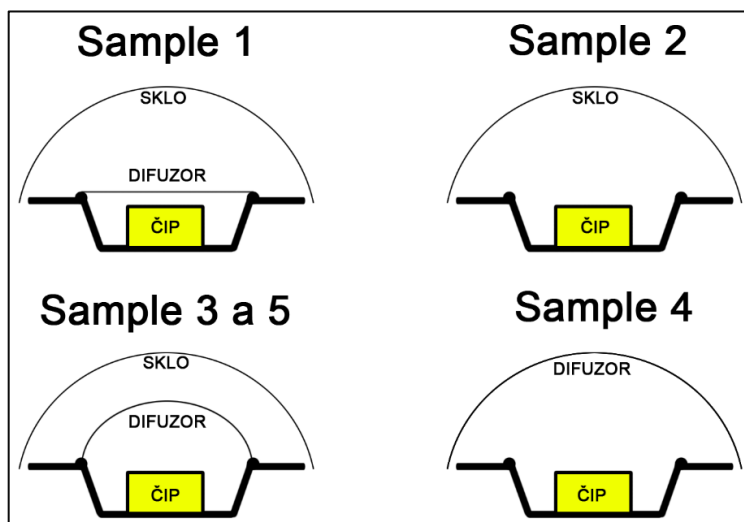
Velmi podstatnou část těchto vzorků tvoří samotná optika. Ta způsobuje rozdílné vyzařovací křivky svítivosti a výslednou hodnotu světelného toku vyzařovaného do prostoru. Změřený příkon je u všech modelů 14 wattů, a proto pouze optika zapříčiní rozdílný měrný výkon. Stejným způsobem jako

u průmyslových svítidel již zavedených v provozu se počítá měrný výkon z celkového světelného toku vyzařeného svítidlem a jeho příkonu. Pro lepší přehlednost jsou výsledky porovnány v tabulce níže.

Tabulka 17 Porovnání měrného výkonu vzorků

Svítidlo (vzorek)	Příkon P (W)	Světelný tok Φ (lm)	Měrný výkon η (lm·W ⁻¹)
Sample 1 - 16 W PC Clear	14	2190	156
Sample 2 - 16 W LEDIL PC Clear	14	2144	153
Sample 3 - 16 W BB PC Clear	14	1841	132
Sample 4 - 16 W PC MAT	14	1328	95
Sample 5 - 16 W BB GLASS	14	1952	139

Z tabulky je vidět, že nejvyšších hodnot měrného výkonu dosáhl vzorek 1 a 2. Vzorek 2 má jako jediný LED čipy nekryty. Na druhou stranu takového provedení optiky může značně způsobovat oslnění v úhlu pozorovatele. Vzorek 1 má čipy překryty páskem matného difuzoru a díky tomu je distribuce světelného toku širší (viz. křivka svítivosti). Pravděpodobnost oslnění je v tomto případě o něco nižší. Velmi podobným výsledkům měrného výkonu dosáhl vzorek 3 a 5. Matný difuzor v obou případech překrývá LED čipy s větším poloměrem. Rozdíl hodnot je dán pouze odlišným sklem tubusu. Křivky svítivosti vzorku 3 a 5 jsou téměř totožné a podle křivek lze určit, že optika způsobuje vyzařování menšího množství světelného toku za tubus. Tento jev je způsoben zadní optikou. Nejnižší hodnotu měrného výkonu má vzorek č. 4. Tento model má tubusový tvar tvořen matným difuzorem (matný polykarbonát). Díky tomu zde dochází k velkému poklesu světelného toku. Velká část je totiž pohlcena uvnitř tubusu. Křivky svítivosti v rovinách C0-C180 a C90-C270 jsou téměř totožné, avšak je zde možné předpokládat nejmenší oslnění v úhlu pozorovatele. Pro lepší představivost je na obrázku níže zobrazen konstrukční princip optiky všech vzorků.



Obrázek 44 Zjednodušené konstrukční uspořádání optiky vzorků

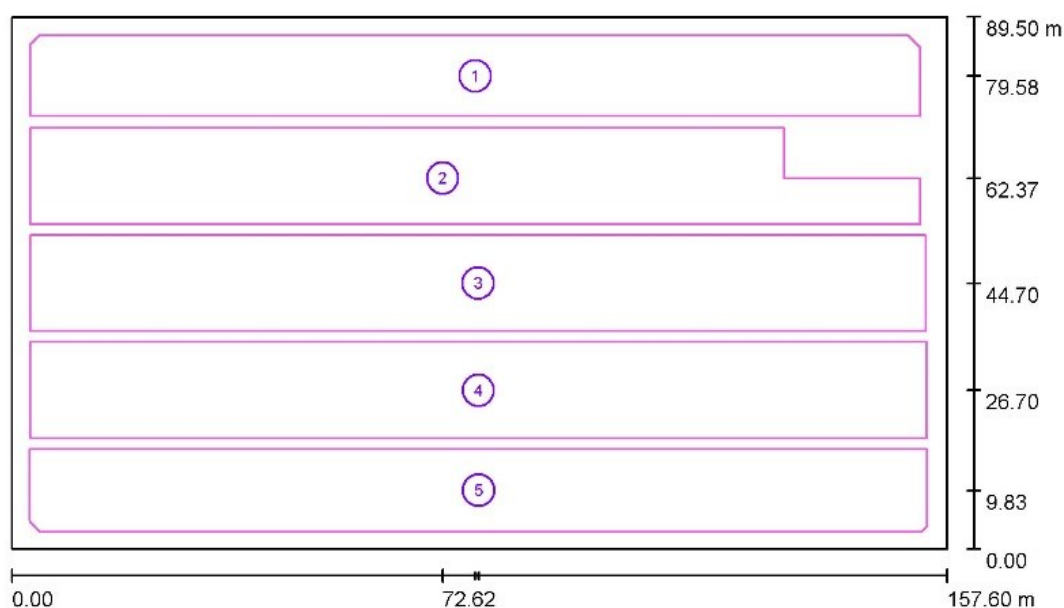
V kapitole 6.2 je pomocí výpočtového programu řešena reálná situace. Na základě získaných výsledků je následně stanoveno, který ze vzorků vyhovuje požadavkům normy. Jelikož všechny mají stupeň krytí IP68, lze tyto svítidla instalovat například do náročných prostorů. Mohou to být podzemní chodby, v kterých je zvýšené množství vody. Vzhledem k použitému materiálu (polykarbonát) budou mít vzorky vysoký stupeň krytí proti mechanickému poškození, a tak aplikace má rozsáhlejší využití.

6 Návrh osvětlovací soustavy pomocí výpočtového softwaru

Pro návrh osvětlovací soustavy je použita jako předloha existující průmyslová hala. To z důvodu, aby byla věrně poskytnuta simulace konkrétní situace, což by imaginární průmyslová hala nemusela splňovat. Při 3D modelování je využito prostředí Dialux verze 4.13 pro výpočet umělého osvětlení. Samotné oslnění je pak modelováno v programu Relux verze 2017.1.1.0.

6.1 Návrh osvětlovací soustavy haly vojenské letecké techniky

Zkoumaná hala se nachází na území ČR. Slouží především pro vojenskou a částečně i civilní leteckou techniku. Z důvodu zachování citlivých dat se diplomová práce nesoustředí detailněji na popis zkoumaného objektu. Rozměry řešené haly jsou 157,6 m x 89,5 m. Výška stropu je v prvních 4/5 výpočtových ploch 6,5 metrů a v poslední výpočtové ploše je výška 12 metrů. Z pohledu pracovní činnosti je prostor využíván k celkovému servisu, oprav a testování. Podle normy je kladen požadavek osvětlenosti minimálně 300 lx, oslnění 22, všeobecný index podání barvy minimálně 80 a rovnoměrnost osvětlení 0,6. Ta je definována jako poměr minimální osvětlenosti k průměrné osvětlenosti výpočetního prostoru a jeho nedodržení je negativně ovlivněn zrakový výkon kvůli adaptaci oka. Vyřiznutá část ve výpočetní ploše 2, tvoří překážka o rozměrech 20 m x 7 m x 3 m na kterou se nevztahuje výpočet.

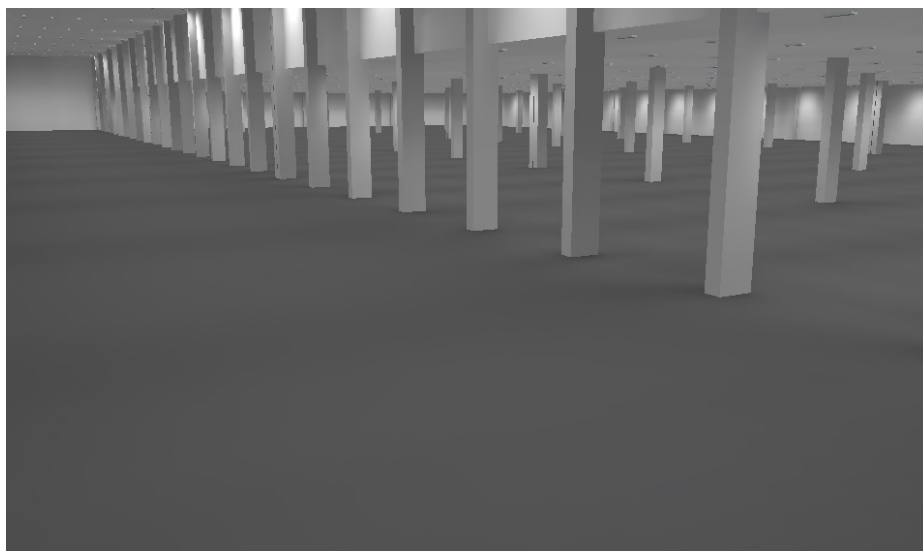


Obrázek 45 Půdorys a přehled výpočtových ploch haly letecké techniky

6.1.1 Vlastnosti haly vstupujících do výpočetního programu Dialux

Při volbě odraznosti povrchů je možné vycházet z hodnot stanovených normou ČSN EN 12464 - 1 *Osvětlení pracovních prostorů* – Část 1: *Vnitřní pracovní prostory*, která doporučuje odraznost pro stěny 0,5 – 0,8; strop 0,7 – 0,9 a podlahu 0,2 – 0,4. V tomto případě je však zohledněn stav haly a z toho důvodu se odraznosti liší od hodnot stanovených normou. Při modelování jsou zohledněny barvy povrchů a použitý materiál. Procentuální odraznost podlahy je 12 %. Strop činí 40 % a stěny 35 %. Činitel údržby je volen 0,7, protože dochází k postupnému znehodnocování budovy kvůli

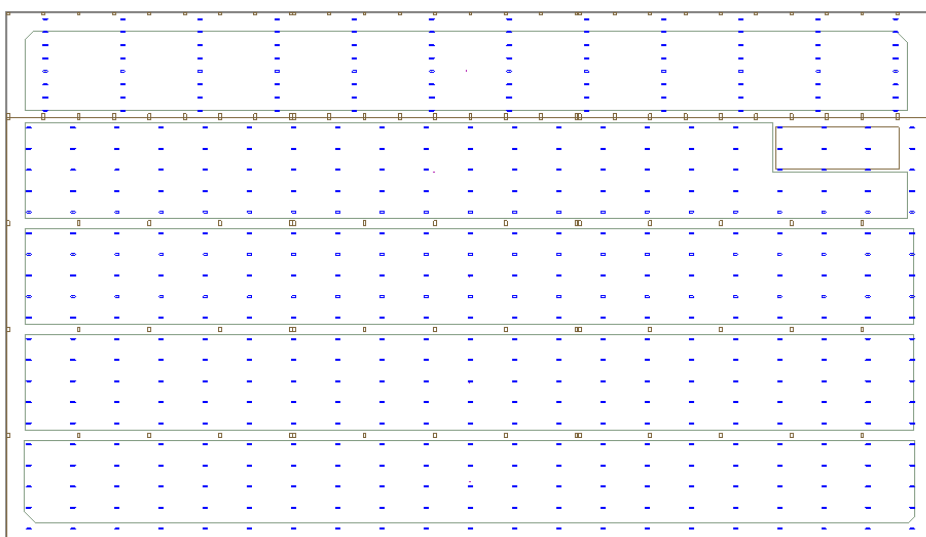
nečistotám a prachu, čímž klesá odraznost stěn. Výpočetní program pracuje tak, že výsledky vynásobí tímto udržovacím činitelem. Srovnávací plocha je stanovena na hodnotě 1,5 metrů a okrajová zóna činí 0,5 metrů.



Obrázek 46 3D modelování haly letecké techniky pomocí programu Dialux

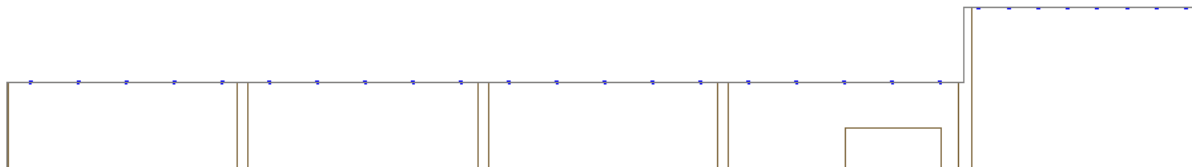
6.1.2 Vhodná volba a umístění svítidel

Správná volba svítidla má velký vliv nejen na splnění normativních požadavků, ale i požadavků investora. V praxi se většinou přihlédne k menším odchylkám normy za cenu nižších investičních nákladů. Ze změřených svítidel je vhodné dle výstupných dat volit svítidlo Doublepower!! SKY 120 W (kapitola 5.1.1 *Svítidlo Doublepower!! SKY 120 W*). Tento typ byl vybrán především na základě množství světelného toku a typu křivek svítivosti, protože díky velkým závěsným výškám a malé odraznosti povrchů haly svítidlo vyhovuje nejlépe (ze všech změřených v kapitole 5) vůči požadavkům normy.



Obrázek 47 Situační náhled umístění svítidel v hale letecké techniky

Z obrázku je vidět, že celkový počet instalovaných svítidel je 516 kusů. Část 2, 3, 4 a 5 tvoří 420 svítidel. Ty jsou přisazena ve výšce 6,5 metrů ke stropu. Osvětlovací soustava je navržena 21 řadami kde každá je tvořena 20 svítidly. Část 1 obsahuje 96 svítidel stejného typu přisazených ke stropu ve výšce 12 metrů. Zde je 12 řad a každá obsahuje 8 svítidel.



Obrázek 48 Bokorys průmyslové haly letecké techniky

6.1.3 Výpočet umělého osvětlení haly letecké techniky

Výpočet umělého osvětlení byl počítán bez přídavku denního osvětlení. Provoz haly je v souladu s normou ČSN EN 12464-1 *Osvětlení pracovních prostorů – Část 1: Vnitřní pracovní prostory* jako prostor s referenčním číslem 5.24.6 *Celkový servis vozidel, opravy a testování*, které je součástí tabulky 5.24 *Průmyslové a řemeslné činnosti – Výroba a opravy vozidel*. Jak už bylo zmíněno, minimální požadované hodnoty jsou:

- udržovaná osvětlenost $\bar{E}_m = 300 \text{ lx}$,
- jednotné omezení oslnění $UGR = 22$,
- rovnoměrnost osvětlení $U_o = 0,6$,
- všeobecný index podání barev $Ra = 80$,
- specifické požadavky – zvážit místní osvětlení.

Tabulka 18 Výstupní hodnoty osvětlovací soustavy s použitím svítidla SKY 120 W

Výpočtová plocha	$\bar{E}_m \text{ (lx)}$	U_o	UGR
1	310	0,726	32,9
2	392	0,652	33,2
3	397	0,678	33,4
4	397	0,671	33,9
5	391	0,683	33,6

Zeleně označené buňky jsou v souladu s normou. Červeně označené buňky jsou mimo požadavek normy. Výpočtová plocha 1 má nejmenší hodnotu udržované osvětlenosti, protože je v tomto úseku nejvyšší výška, avšak i přes tuto skutečnost je stále splněn požadavek. Závěsná výška 12 metrů zapříčiní větší rovnoměrnost osvětlení. Hodnoty oslnění přesahují výrazně požadavek normy. Výstupní protokol haly letecké techniky je k dispozici v elektronické formě přílohy pod názvem *Hala_letecké_techniky.pdf*.

6.1.4 Porovnání změřených svítidel

Tato podkapitola je zaměřena na porovnání změřených svítidel za účelem splnění stejně daných podmínek, protože svítidla TREE LED 35 W a LED High Bay disponují výrazně odlišnými parametry.

Tabulka 19 Výstupní hodnoty osvětlovací soustavy s použitím svítidla TREE LED 35 W

Výpočtová plocha	\bar{E}_m (lx)	U_o	UGR
1	300	0,694	32,8
2	364	0,769	33,1
3	367	0,857	33
4	367	0,862	33
5	364	0,835	33,5

K částečnému dosažení normativních požadavků je potřeba celkově 1595 kusů svítidel typu TREE LED 35 W. U výpočtové oblasti 2,3,4 a 5 je to 1295 kusů a pro výpočtovou oblast 1 je potřeba 300 kusů svítidel. Důvodem je světelný tok, který je v podstatě nižší než u typu SKY 120 W a díky tomu je potřeba k dosažení požadované osvětlenosti více svítidel. Hodnoty oslnění taktéž nejsou splněny ve všech výpočtových prostorech. Vzhledem k širší křivce svítivosti je na druhou stranu bezproblémově splněn požadavek rovnoměrnosti osvětlenosti, který značně v měřené oblasti 3 a 4 překračuje hodnotu 0,85. Otázkou je, zda investor je schopen schválit tak vysoký počet svítidel. Je potřeba si uvědomit, že příkon je v tomto případě sice o 85 W menší (na jedno svítidlo), ale v konečném výsledku je SKY 120 W úspornější kvůli nižšímu počtu kusů.

Stejným způsobem je instalována světelná soustava pomocí svítidla LED High Bay. Světelný tok je velmi blízký hodnotám SKY 120 W. Křivka svítivosti je však odlišná. Pro splnění požadavků normy je potřeba 520 kusů svítidel (400 svítidel pro části 2, 3, 4, 5 a 120 svítidel pro část 1). Rovnoměrnost osvětlení je v tomto případě dostačující. Oslnění překračuje limitní hodnotu normy. Příkon se od SKY 120 W liší o 28,8 W. Z toho vychází, že úspornější je svítidlo SKY 120 W (v obou případech – TREE LED 35 W a LED High Bay).

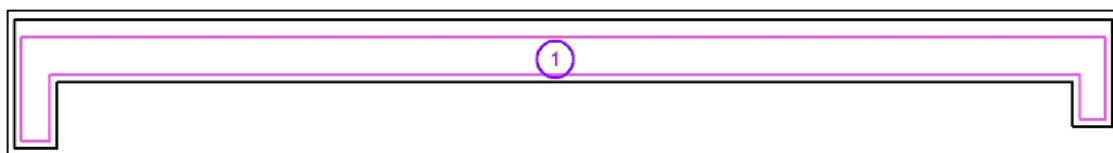
Tabulka 20 Výstupní hodnoty osvětlovací soustavy s použitím svítidla LED High Bay

Výpočtová plocha	\bar{E}_m (lx)	U_o	UGR
1	329	0,760	36,6
2	348	0,688	35,6
3	347	0,737	37,1
4	347	0,732	36,4
5	339	0,760	36,8

Hlavní otázkou je, k jaké z variant je schopen investor přistoupit. V kombinaci energetické náročnosti a plnění požadavků normy je nejlepší použít svítidlo SKY 120 W. Ze všech tří změřených modelů totiž vychází nejúsporněji, neboť k dosažení požadované udržované osvětlenosti a rovnoměrnosti osvětlení je potřeba nejmenší počet na projekci osvětlovací soustavy, což se projeví i vzhledem k příkonu na energetické náročnosti. Z tohoto důvodu investor může přehlížet míru oslnění v úhlu pozorovatele, která přesahuje dovolené hodnoty. Pokud při návrhu osvětlovací soustavy je investor ochoten přistoupit k tomu, že oslnění přesahuje požadovanou hodnotu a další parametry budou splněny i za cenu odlišných pořizovacích nákladů, tak vhodnou volbou je svítidlo SKY 120 W.

6.2 Návrh osvětlovací soustavy průmyslové části objektu TATRA TRUCKS, a.s.

Průmyslová zóna firmy TATRA TRUCKS, a.s. se soustředí na výrobu nákladních vozidel v oblasti armády, záchranného sboru hasičů, stavebnictví, lesnictví, zemědělství a další. Konkrétně se v Kopřivnickém závodě provádí mnoho technologických procesů a kvůli tomu se zde nachází větší počet výrobních hal a skladových prostorů. Vzhledem k porovnání tubusových vzorků je kapitola zaměřena na jednu z chodeb spojující dvě průmyslové haly kde se tento typ svítidel může aplikovat.



Obrázek 49 Výpočtová plocha chodby

6.2.1 Vlastnosti chodby vstupujících do výpočetního programu Dialux

Délka chodby je 77 metrů a její šířka činí 4 metry. Výška je 3,8 metrů. Při modelování jsou zohledněny barvy povrchů a použitý materiál. Procentuální odraznost podlahy je 15 %, strop 30 % a stěny 30 %. Činitel údržby je 0,8. Výpočtová plocha je výškově totožná s podlahou, protože norma požaduje v rámci chodeb osvětlenost vyhodnocovat na podlaze (viz. 6.2.3 *Výpočet umělého osvětlení chodby*).

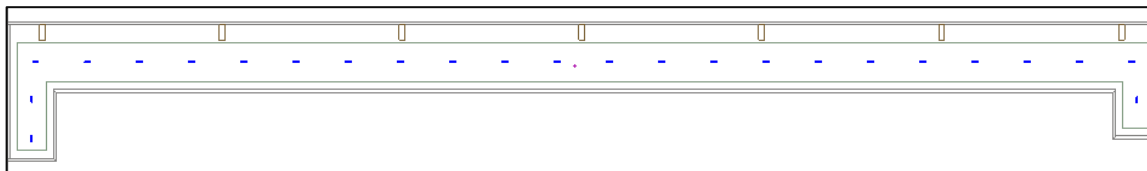


Obrázek 50 3D modelování chodby pomocí programu Dialux

6.2.2 Vhodná volba a umístění svítidel

Tubusové vzorky mají stupeň krytí proti vniknutí cizích těles a vody IP68. Dále vzhledem k použitému materiálu budou mít i vysoký stupeň krytí proti mechanické poškození. To znamená, že jejich využití má význam především v místě s výskytem vody či místem s vyšším rizikem poškození svítidla. S přihlédnutím na jejich světelně-technické parametry je vhodná volba především do chodeb, menších skladů, chladíren a podobně. Vzhledem k rozměrům řešené chodby postačí uspořádání v jedné přímce, kdy na konci obou částí stran chodby je potřeba instalovat svítidla tak, aby byla splněna

i rovnoměrnost osvětlenosti. Nejprve je namodelována situace pomocí vzorku, který měl největší měrný výkon. To se týká modelu Sample 1 – SEA 16 W PC Clear. Následně jsou výsledky všech vzorků zobrazeny v tabulce níže. Jelikož všechny modely mají příkon 14 W, tak je soustava řešena při stejném počtu svítidel osvětlovací soustavy. Z obrázku je vidět, že celkový počet instalovaných svítidel osvětlovací soustavy je 25. Soustava je přisazena na strop a rozteč jednotlivých svítidel hlavní části je 3,842 metrů.



Obrázek 51 Situační náhled umístění svítidel Sample 1 v chodbě

6.2.3 Výpočet umělého osvětlení chodby

Prostor chodby je v souladu s normou ČSN EN 12464-1 *Osvětlení pracovních prostorů* – Část 1: *Vnitřní pracovní prostory* jako prostor s referenčním číslem 5.1.1 *Komunikační prostory a chodby*, které je součástí tabulky 5.1 *Komunikační zóny uvnitř budov*. Požadavky na osvětlenost jsou:

- udržovaná osvětlenost $\bar{E}_m = 100 \text{ lx}$,
- jednotné omezení oslnění $UGR = 28$,
- rovnoměrnost osvětlení $U_o = 0,4$,
- všeobecný index podání barev $R_a = 40$,
- specifické požadavky – osvětlenost na podlaze. R_a a UGR stejné jako v přilehlých prostorech, 150 lx v případě výskytu vozidel. Osvětlení výstupů a vstupů musí poskytovat přechodové pásmo, aby se zabránilo náhlým změnám osvětlení mezi vnitřkem a vnějškem ve dne i v noci. Pozornost se musí věnovat zábraně oslnění řidičů i chodců.

Tabulka 21 Výsledky osvětlovací soustavy všech typů vzorků

Typ vzorku	$\bar{E}_m \text{ (lx)}$	U_o	UGR
Sample 1 – SEA 16 W PC Clear	112	0,483	36,9
Sample 2 – SEA 16 W LEDIL PC Clear	111	0,472	33,9
Sample 3 – SEA 16 W BB PC Clear	46	0,626	26,1
Sample 4 – SEA 16 W PC MAT	37	0,589	27,5
Sample 5 – SEA 16 W BB GLASS	48	0,625	26,7

Pro lepší přehlednost jsou opět červenou barvou označeny buňky obsahující hodnoty mimo požadavek normy a zelenou barvou buňky obsahující hodnoty v souladu s normou. Z tabulky je tedy vidět, že veškeré vzorky splňují normativní rovnoměrnosti osvětlení. Pouze první dva modely vyhovují požadavku udržované osvětlenosti, avšak přesahují hodnotu oslnění. Naproti tomu zbylé tři vzorky požadavku udržované osvětlenosti nevyhovují, ale z hlediska oslnění splňují normu. Výsledky mají velký vliv na výstupní hodnoty měření. Sample 1 a 2 jako jediné přesáhly hodnotu světelného toku 2000 lumenů a měrný výkon svítidla $150 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$. Při navýšení počtu (Sample 3, 4 a 5) svítidel je stále problém dosáhnout požadované hodnoty udržované osvětlenosti. Výstupní protokol chodby se vzorkem 2 je k dispozici v elektronické formě přílohy pod názvem *Chodba.pdf*.

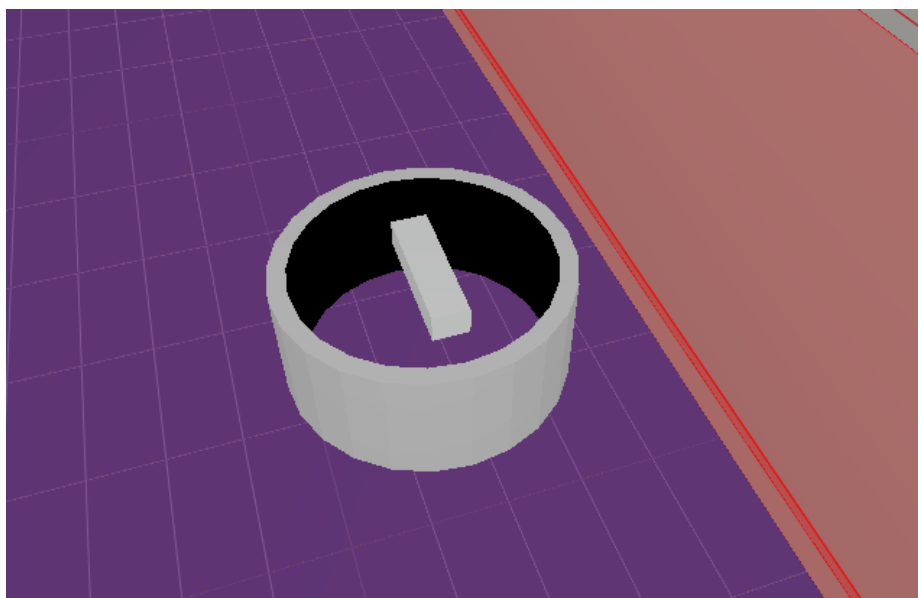
7 Řešení problematiky osvětlovací soustavy

Při návrhu osvětlovací soustavy (v kapitole 6.1 *Návrh osvětlovací soustavy haly vojenské letecké techniky* a 6.2 *Návrh osvětlovací soustavy průmyslové části objektu TATRA TRUCKS, a.s.*) měřená svítidla splňují pouze určitou část požadavků normy. Investor by se měl rozhodnout, kterou z variant je ochoten schválit. Zdali dá přednost nižším investičním nákladům anebo splnění normativních požadavků, čímž je z velké části zajištěna bezpečnost provozu. Investiční náklady je možné rozdělit na provozní a pořizovací, což je potřeba také zohlednit. Jedna z možností je, že investor schválí návrh projektanta spolu se svými požadavky. V takovém případě by měl být projektant schopen řešit problematiku ať už z hlediska splnění normativních požadavků nebo návrhu energeticky úspornější osvětlovací soustavy.

7.1 Průmyslová hala letecké techniky – svítidlo SKY 120 W

Svítidlo SKY 120 W vyšlo při projektování osvětlovací soustavy průmyslové haly letecké techniky jako nejúspornější varianta vzhledem k dosažení požadovaných hodnot stanovených normou s výjimkou oslnění *UGR*. Vzhledem ke značnému přesahu hodnot je pozorovatel v úhlu oslňován, čímž může být z hlediska bezpečnosti při plnění pracovního úkolu ohrožen. Jelikož je osvětlovací soustava nejúspornější volbou, může investor projekci schválit s požadavkem na omezení oslnění v úhlu pozorovatele.

Jednou z možností je zhotovit stínění okolo svítidla. Ideálně by toto stínění mělo mít vnitřní část černé barvy, aby se zabránilo velkému množství odrazů. Ve výpočtovém programu je možnost stínění namodelovat. V tomto případě na obrázku níže je stínění kruhového tvaru. Vnitřní část je opatřena černou barvou. Výška je 0,7 metrů a tloušťka 0,1 metrů.



Obrázek 52 Kruhové stínění svítidla SKY 120 W

Toto opatření však problém řeší pouze částečně. Stínění zabrání v určitých úhlech oslnění, ale stále se nesníží na hodnotu tolerovanou normou na všech místech výpočtové plochy. Zároveň klesá udržovaná

osvětlenost a rovnoměrnost osvětlení. Při zhotovení kruhového stínění je výpočtová plocha oslnění zobrazena níže na obrázku. Síť bodů je vyobrazena na úseku 50 m – 150 m (v místě max. hodnoty *UGR*).

<10	35,1	<10	<10	<10	<10	<10	<10	34,8	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
<10	33,1	<10	<10	<10	<10	<10	<10	33	<10	<10	<10	<10	<10	<10	33,3	<10
<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	26,7	<10
<10	35,4	<10	<10	<10	<10	<10	<10	35,3	<10	<10	<10	<10	<10	<10	34,5	<10
<10	35	<10	<10	<10	<10	<10	<10	34,1	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
<10	34,4	<10	<10	<10	<10	<10	<10	33,7	<10	<10	<10	<10	<10	<10	34,2	<10
<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	27,7	<10
<10	34,4	<10	<10	<10	<10	<10	<10	33,9	<10	<10	<10	<10	<10	<10	33,9	<10
<10	34,7	<10	<10	<10	<10	<10	<10	35,3	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
<10	34,8	<10	<10	<10	<10	<10	<10	34,6	<10	<10	<10	<10	<10	<10	34,6	<10
<10	29,3	<10	<10	<10	<10	<10	<10	29,3	<10	<10	<10	<10	<10	<10	29,4	<10
<10	33,1	<10	<10	<10	<10	<10	<10	33	<10	<10	<10	<10	<10	<10	33,2	<10
<10	34,6	<10	<10	<10	<10	<10	<10	34,6	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10

Obrázek 53 Síť bodů oslnění s kruhovým stíněním svítidla SKY 120 W

Další možností je nátěr stěn na bílo tak, aby odraznost zdí byla co největší. V případě, že by odraznost byla 100 %, maximální hodnoty oslnění poklesnou v tomto případě na 23,2. Takhle hodnota je hraniční s požadavkem normy (22). V praxi však není možné v průmyslové hale s vysokými požadavky zaručit takto vysokou odraznost stěn. Síť bodů je vyobrazena na rozmezí 50 m – 150 m (v místě maximální hodnoty *UGR*).

15,7	22,6	17,2	14,4	18,6	14,9	20,9	16,1	22,9	17	14,2	18,1	15,1	20,6	16,7	22,8
16,7	21,4	17,6	15,4	18,8	16,3	20,6	17,2	22,3	18,4	15,6	18,6	16,5	19,9	17	21,8
17,1	19,1	17,6	15,5	18,6	16,3	18,9	17,1	19,6	18	15,8	18,8	16,5	19,7	17,6	19,9
16,8	22,9	17,7	15,7	19	16,2	21,2	17,2	22,9	17,9	15,8	18,7	16,5	20,7	17,4	23,2
16,4	22,7	18	15,5	18,8	16,5	21	17	23	17,7	15,8	18,7	16,2	21,2	17,1	22,9
16,8	22,2	18,4	15,6	18,7	16,4	20,7	17,2	22,4	17,8	15,8	18,5	16,4	20,1	17,4	22,4
16,7	18,9	17,8	15,6	18,3	16,5	19	17	19,2	17,8	16	18,9	16,5	19,3	17,3	20,3
16,7	22,1	17,4	15,4	18,9	16,2	20,9	17,3	22,3	18,2	15,8	18,6	16,3	20,1	17,5	22,2
16,5	22,5	17,2	15,2	19	16,5	21	17,3	22,9	17,5	15,9	18,7	16	20,6	17,1	22,9
16,7	22,6	17,7	15,5	18,8	16,4	21,3	17,5	22,7	17,9	15,7	18,9	16,4	20,7	17,4	23,1
16,9	19,1	17,6	15,4	19,2	16,4	19,1	17,1	19,6	18,4	15,7	18,8	16,4	19,2	17,3	20,1
16,5	21,5	17,9	15,4	18,6	16,5	20,5	17,1	22	17,8	15,5	18,6	16,5	20,4	17,2	21,7
15,7	22,6	16,9	14	18,3	15,3	20,7	16	22,9	17,8	14,5	18,6	15,2	20,8	16,4	22,9

Obrázek 54 Síť bodů hodnot oslnění s odrazností stěn 100 %

Třetím způsobem, jak snížit oslnění je zvětšením světelně činné plochy světelného zdroje. Jelikož výpočet jasu obsahuje ve jmenovateli světelně činnou plochu, tak při jejím zvýšení bude výsledná hodnota jasu menší. Aby bylo dosaženo požadavku, musí se zvýšit i délka a šířka samotného svítidla. To z toho důvodu, protože zvětšená optika musí být stále menší než samotné svítidlo. Pomocí výpočtového programu Relux je namodelovaná totožná situace. Změna velikosti svítidla a optiky vůči původním rozměrům je s výsledky v tabulce níže.

Tabulka 22 Porovnání hodnot na základě změny rozměrů svítidla a optiky

Původní rozměry (mm)		Nové rozměry (mm)		Původní výsledky		Nové výsledky	
Délka svítidla	750	Délka svítidla	1100	\bar{E}_m (lx)	377	\bar{E}_m (lx)	320
Šířka svítidla	200	Šířka svítidla	600	U_o	0,6	U_o	0,6
Délka optiky	450	Délka optiky	1000	UGR	33,9	UGR	21,7
Šířka optiky	50	Šířka optiky	500	Podmínka	Nevyhovuje	Podmínka	Vyhovuje

Z tabulky je možné vidět, že změna rozměrů se výrazně projeví na UGR hodnotách. Dochází tak ke splnění veškerých požadavků normy. Z pohledu investora je potřeba si uvědomit, zda není jednodušší volit jiný typ svítidla, u kterého není potřeba konstrukčních úprav.

Při řešení tohoto problému je potřeba se zamyslet, zdali je svítidlo vyhovující pro řešený typ vnitřního pracovního prostoru haly letecké techniky. Jestli svítidlo splňuje parametry pro zdroje s vysokým jasem, řeší norma ČSN EN 12646-1 *Světlo a osvětlování – Osvětlení pracovních prostorů – Část 1: Vnitřní pracovní prostory*. Konkrétně kapitola 4.5.3 se v této části normy zabývá omezením oslnění cloněním. Tabulka 23 definuje hodnoty jasu světelného zdroje a minimálního úhlu clonění.

Tabulka 23 Minimální úhly clonění pro specifikované jasy světelných zdrojů [15]

Jas světelného zdroje ($\text{kcd} \cdot \text{m}^{-2}$)	Minimální úhel clonění $\alpha(^{\circ})$
20 až <50	15
50 až <500	20
≥ 500	30

Pomocí výpočtového programu Dialux je možné vygenerovat tabulku jasů v úhlech od 0° do 85° pro roviny C0 až C360. Hodnoty jasů uvedené v tabulce 24 a 25 se vztahují na svítidla, avšak uvažuje se práce s homogenním polem zářiče.

Tabulka 24 Jasy svítidla SKY 120 W

Jas světelného zdroje ($\text{kcd} \cdot \text{m}^{-2}$)	Minimální úhel clonění $\alpha(^{\circ})$
453	15
452	20
373	30

Podle tabulky 24 ve srovnání s požadavkem normy je vidět, že svítidlo nesplňuje podmínky jasů a mělo by být opatřeno stíněním do 20° . Pro snížení je potřeba světelný zdroj hlouběji zapustit do svítidla nebo vytvořit vhodnou optiku snižující jas v nevyhovujícím úhlu. Na základě těchto výsledků lze konstatovat, že svítidlo SKY 120 W je pro tvorbu osvětlovací soustavy haly letecké techniky nevyhovující! Aplikace tohoto typu svítidla je vhodná například v místech, kdy osoba vykonávající činnost nemá vodorovný směr pohledu. To znamená, že pozorovatel má sklopený pohled níže k zemi. Dále je vhodné svítidlo opatřit mřížkou, avšak za cenu změny rovnoměrnosti osvětlení. Stejným způsobem je řešeno i svítidlo TREE LED 35 W a LED High Bay.

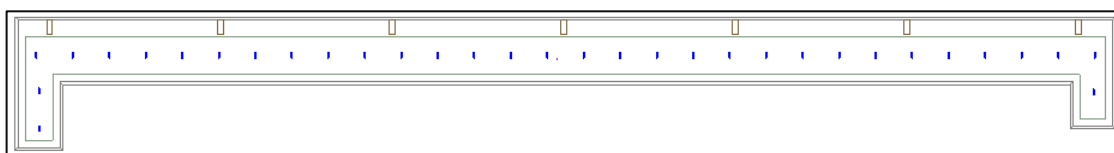
Tabulka 25 Jasy svítidla TREE LED 35 W a LED High Bay

TREE LED 35 W		LED High Bay	
Jas světelného zdroje ($\text{kcd} \cdot \text{m}^{-2}$)	Minimální úhel clonění $\alpha(^{\circ})$	Jas světelného zdroje ($\text{kcd} \cdot \text{m}^{-2}$)	Minimální úhel clonění $\alpha(^{\circ})$
77	15	421	15
79	20	421	20
84	30	414	30

Jasy světelného zdroje umístěném ve svítidle vůči úhlu clonění opět neodpovídají požadavkům normě. Tudíž na základě výsledků lze konstatovat, že svítidlo TREE LED 35 W a LED High Bay je potřeba clonit do úhlu 20° ! Pro splnění je potřeba stejných opatření jako u svítidla SKY 120 W. Jedním způsobem je zapaštění světelného zdroje hlouběji do svítidla nebo vytvořením optiky snižující jas v nevyhovujícím úhlu. Svítidlo typu TREE LED 35 W ze všech tří posuzovaných svítidel v problematickém úhlu do 20° vyšlo nejlépe.

7.2 Chodba části objektu TATRA TRUCKS, a.s. a Sample 1 a 2

Jelikož je osvětlovací soustava chodby tvořená jednou řadou svítidel, tak je možné uvažovat kromě stínění i jejich způsob umístění. Při tvorbě stínění okolo svítidla dochází k poklesu rovnoměrnosti osvětlení a udržované osvětlenosti zkoumané plochy. Vzorky 3, 4 a 5 nemá díky výsledkům smysl řešit. I přes splnění oslnění v úhlu pozorovatele je velmi obtížné dosáhnout požadované udržované osvětlenosti. To i přes dvojnásobně větší počet. Řešení má tedy smysl u vzorku 1 a 2. Při otočení každého svítidla hlavní části osvětlovací soustavy o 90° je možné snížit hodnotu oslnění. Dojde k poklesu udržované osvětlenosti, což lze vyřešit navýšením počtu vzorků z původních 25 na 33. Výstupní protokol řešeného oslnění chodby je k dispozici v elektronické formě přílohy pod názvem *Chodba_2.pdf*.



Obrázek 55 Řešení problematiky oslnění chodby otočením svítidel o 90°

Zvětší-li se počet svítidel z původních 25 na 33, tak se dá spolehlivě dosáhnout veškerých požadavků stanovených normou. Investor sice zaplatí o 8 svítidel více, než bylo původně stanoveno, avšak ušetří na individuálních úpravách svítidel, protože stínění by se muselo provádět na všech původních 25 kusech. Výsledky osvětlovací soustavy jsou znázorněny níže v tabulce. Udržovaná osvětlenost je uvažována na podlaze a oslnění ve výšce srovnávací roviny 1,5 metrů.

Tabulka 26 Výstupní hodnoty při řešení problematiky oslnění chodby

Typ vzorku	$\bar{E}_m (\text{lx})$	U_o	UGR
Sample 1 – SEA 16 W PC Clear	110	0,602	24,2
Sample 2 – SEA 16 W LEDIL PC Clear	112	0,555	23,3

Podle tabulky je možné vidět, že oba vzorky splňují veškeré požadavky stanovené normou. Investor v tomto případě zaplatí o 8 svítidel více, avšak jsou splněné veškeré parametry. Další způsoby minimalizace oslnění jsou totožná s kapitolou 7.1. To znamená, že snížení oslnění je možné zvýšením odraznosti stěn, zvětšením světelně činné části a zhotovením stínění či difuzoru v problematickém úhlu. Dále svítidla mohou být použita tam, kde osoba vykonávající činnost nemá vodorovný směr pohledu, ale pohled má sklopený směrem k zemi. Rozdíl způsobený otočením svítidel o 90° je znázorněn níže.

28	28,2	25,8	27,1	27,4	27,7	28,2	28	26,2	27	28,1	28	27,8	28,1	26	26,7	27,7
31	30,7	29,7	31,2	32,1	32,6	31,9	30,6	29,8	31,1	32,3	32,4	31,1	30,7	29,7	31,2	32,5
33,1	31,9	30,4	31,9	33,2	[33,9]	33	31,7	30,6	32	33,1	33,8	33	32	30,5	31,8	33,2
31,3	30,7	29,6	31,3	32,3	32,6	31,1	30,5	29,9	31,2	32,2	32,6	31	30,8	29,9	31,2	32,3
28,2	28,4	25,8	27	27,5	27,7	28,2	27,9	26	26,9	27,4	27,9	28,1	28,4	26,1	26,7	27,8

Obrázek 56 Síť bodů před eliminací hodnot oslnění

19,5	21,2	18,1	18,3	19,8	20,4	22,4	18,3	18,4	20,5	21,3	17,9	19,1	19,4	21	17,6	18,2
20	21,9	18,3	18,9	20,1	21	18	18,6	19,6	20,4	22,3	18,4	19,3	19,8	21,4	18,3	18,7
19,9	21,8	18,2	18,6	19,8	20,9	18	18,6	19,5	20,2	22,1	17,9	19,2	19,6	21,2	18,2	18,2
20	21,9	18,4	19,1	20	20,7	18,2	19,1	19,6	20,4	22,2	18,1	19,6	20	21,7	18,3	18,6
19,7	21,4	18	18,3	19,6	20,5	[23,3]	18,3	18,4	20,4	21,3	17,8	18,9	19,2	20,9	17,7	18,1

Obrázek 57 Síť bodů po eliminaci hodnot oslnění

Síť bodů na obrázku 56 a 57 je zachycena v úseku maximální hodnoty oslnění. Zároveň se oba obrázky vztahují na vzorek Sample 2 – SEA 16 W LEDIL PC Clear. Otočením svítidla o 90° je dominantní část světelného toku soustředěna do šíře chodby. Pohled pozorovatele je v obou případech z pravé strany do levé. Srovnávací rovina oslnění je ve výšce 1,5 metrů.

Tabulka 27 Porovnání jasů pro minimální úhel clonění 15°

Typ vzorku	Jas ($\text{kcd} \cdot \text{m}^{-2}$) pro minimálním úhel clonění 15°	Podmínka
Sample 1 – SEA 16 W PC Clear	75163	Nevyhovuje
Sample 2 – SEA 16 W LEDIL PC Clear	83971	Nevyhovuje
Sample 3 – SEA 16 W BB PC Clear	27008	Vyhovuje
Sample 4 – SEA 16 W PC MAT	22835	Vyhovuje
Sample 5 – SEA 16 W BB GLASS	28370	Vyhovuje

V kapitole 7.1 při porovnávání jasů v minimálních úhlech clonění podle ČSN EN 12464-1 byly jasy nevyhovující do úhlu clonění 20°. Z toho důvodu jsou v tabulce 27 zobrazeny jasy vzorků 1 až 5 právě pro minimální úhel clonění 15°. Z tabulky je vidět, že pro vzorek 1 a 2 je vhodné zhotovit stínění do 20°. Zbylé tři vzorky v rámci jasů vyhovují normě.

Závěr

Cílem diplomové práce je porovnat kvalitativní a kvantitativní parametry svítidel poskytnutých firmou Doublepower!! s.r.o. a na základě změřených dat tyto svítidla instalovat ve vnitřních pracovních prostorech. Pomocí výpočtového softwaru Dialux se průmyslová svítidla TREE LED 35 W, SKY 120 W a LED High Bay aplikovala do reálné průmyslové haly letecké techniky sloužící pro armádní letouny v Praze. Další poskytnuté svítidla tubusového tvaru označeny jako vzorky 1 až 5 jsou testovány v chodbě, která je součástí závodu TATRA TRUCKS, a.s. v Kopřivnici. Účelem modelovaných situací bylo splnit normativní požadavky dle ČSN EN 12464-1 *Světlo a osvětlování – Osvětlení pracovních prostorů* – Část 1: *Vnitřní pracovní prostory*. Veškeré hodnoty nekorigující s normou řeší poslední kapitola diplomové práce. Zároveň je osvětlovací soustava navržena tak, aby provozní a pořizovací náklady byly co nejnižší.

Průmyslová hala letecké techniky se skládá z pěti výpočetních ploch, přičemž výpočetní plocha označená číslem 1 je odlišná od ostatních tím, že výška stropu je 12 metrů. Na ostatních místech haly je výška 6,5 metrů. V hangáru se provádí údržba a servis letounů a díky tomu norma definuje požadavek na udržovanou osvětlenost minimálně 300 luxů, rovnoměrnost osvětlení 0,6 a maximální oslnění 22. Prostor je tedy v souladu s ČSN EN 12464-1 *Osvětlení pracovních prostorů* – Část 1: *Vnitřní pracovní prostory* jako prostor s referenčním číslem 5.24.6 *Celkový servis vozidel, opravy a testování*, které je součástí tabulky 5.24 *Průmyslové a řemeslné činnosti – Výroba a opravy vozidel*. Osvětlovací soustava v tomto případě byla sestavena ve třech verzích (TREE LED 35 W, SKY 120 W a LED High Bay). Nejdříve je potřeba zmínit, že žádné ze svítidel nesplňuje hodnotu oslnění *UGR* (viz. tabulky 18, 19 a 20) a dochází tak k oslnění pozorovatele. Při návrhu osvětlovací soustavy je tedy primárně snaha dodržet udržovanou osvětlenost a rovnoměrnost osvětlení. Z výsledku je možné říct, že osvětlovací soustava tvořená svítidlem SKY 120 W potřebuje ke splnění zmíněných požadavků celkem 516 kusů. O 4 svítidla více potřebuje osvětlovací soustava tvořená svítidlem LED High Bay. V počtu kusů nejhůře skončil model osvětlovací soustavy tvořen svítidlem TREE LED 35 W, který ke splnění požadavků musí obsahovat 1595 kusů svítidel. Počet je závislý na měrném výkonu svítidla a na jeho křivce svítivosti. Nejúspornější osvětlovací soustava z pohledu příkonu a počtu svítidel vychází pomocí svítidla SKY 120 W.

Tubusové vzorky, které jsou ve fázi testování (tzn. nejsou zatím v provozu) označeny jako Sample 1 a ž 5 jsou speciální svým vysokým stupněm krytí IP a stupněm proti mechanickému poškození IK. Takový typ svítidel je vhodné instalovat do chodbových prostorů s výskytem vody a většího rizika poškození. Polykarbonát, jenž je ve většině případů tubus tvořen zapříčiní, že jakýkoliv náraz do svítidla způsobí pružný průhyb materiálu. Chodba závodu TATRA TRUCKS, a.s. v Kopřivnici spojující lakovnu a montáž je osazena těmito vzorky pomocí výpočtového programu Dialux. Osvětlovací soustava tvořená 25 kusy svítidel má za úkol splnit normativní požadavky dle ČSN EN 12464-1 *Osvětlení pracovních prostorů* – Část 1: *Vnitřní pracovní prostory* jako prostor s referenčním číslem 5.1.1 *Komunikační prostory a chodby*, které je součástí tabulky 5.1 *Komunikační zóny uvnitř budov*. Tato část definuje požadovanou udržovanou osvětlenost na podlaze o hodnotě 100 luxů, rovnoměrnost osvětlení minimálně 0,4 a oslnění maximálně 28. Podle výsledků uvedených v tabulce 21 je vidět, že první dva vzorky nesplňují hodnoty oslnění, zatímco zbylé tři nesplňují udržovanou osvětlenost. To je dáno především nízkou hodnotou vyzařovaného světelného toku. Z pohledu investora je tedy ideální

vzorek 1 a 2, protože díky nízké hodnotě světelného toku u vzorku 3, 4 a 5 při navýšení počtu kusů stále není splněn požadavek udržované osvětlenosti.

V první části, kdy je průmyslová hala letecké techniky navržena pomocí svítidel již uvedených v provozu lze konstatovat, že na základě příkonu a počtu svítidel tvořených osvětlovací soustavou vyšlo z hlediska investic nejlépe svítidlo SKY 120 W. Problematiku oslnění má tedy smysl řešit především pro tento typ. Maximální hodnotu oslnění 33,9 v hale je možné snížit několika způsoby. Zvýšení odraznosti stěn haly, zvětšením světelně činné plochy světelného zdroje a zhotovením stínění či difuzoru. Výsledky oslnění těchto experimentů jsou znázorněny na obrázku 53 a 54 a v tabulce 22. Z toho lze usoudit, že ideální volbou je snížení oslnění zvětšením světelně činné části, kdy změnou rozměrů znázorněných v tabulce 22 dojde z původní hodnoty 33,9 pokles oslnění na 21,7. Změna rozměrů je v tomto případě značná, a tudíž konstrukční úpravu je možné považovat za nevyhovující. Zda-li svítidlo vyhovuje z hlediska úhlu clonění je řešeno v kapitole 7. Jasy světelných zdrojů svítidel jsou získány pomocí výpočtového programu Dialux a porovnány s tabulkou normy zabývající se minimálními úhly clonění. Tabulka 24 a 25 ukazuje, že jasy v úhlu především pro 15° neodpovídají požadavku. Na základě toho je možné konstatovat, že svítidla SKY 120 W, TREE LED 35 W a LED High Bay jsou nevyhovující pro daný typ prostoru a je vhodné je clonit do 20° vhodným stíněním. Hodnoty jasů je dále možné snížit zapuštěním světelného zdroje hlouběji do svítidla, zhotovením optiky snižující jas v nevyhovujícím úhlu a zvětšením světelně činné plochy. Ideálně by se tato svítidla měla instalovat do takových prostor, kdy pozorovatel při plnění pracovního úkolu nemá vodorovný pohled. Pokud by osoba směřovala při práci svůj pohled více k zemi (například obsluha zařízení, které je vysoké 1 metr s výškou osoby 1,8 metrů), tak by nemuselo docházet k oslnění ve směru pozorovatele.

V druhé části, která se týká tubusových svítidel překračuje oslnění pouze u typu Sample 1 – SEA 16 W PC Clear a Sample 2 – SEA 16 W LEDIL PC Clear. Svítidla Sample 3, 4 a 5 nemá v tomto případě smysl řešit, neboť sice vyhovují požadavku na oslnění, avšak udržovaná osvětlenost není dosažena (i při navýšení počtu svítidel osvětlovací soustavy). Podle křivky svítivosti prvních dvou vzorků je vidět, že mají širší křivku svítivosti a největší měrný výkon. Z toho důvodu je pozorovatel průchodem chodby oslňován. Jelikož je chodba úzká a tvořena pouze jednou řadou svítidel, tak nedojde k oslnění při vytočení každého svítidla o 90°. Tím dominantní část světelného toku je vyzařována do šíře chodby. Následně dojde k poklesu udržované osvětlenosti, ale navýšením počtu z původních 25 svítidel na 33 je zpětně splněna podmínka.

Hlavním přínosem této diplomové práce je především pochopení chování svítidel tvořící osvětlovací soustavu při změnách elektrotechnických, optických a mechanických vlastností. Získané znalosti v oboru elektrického světla při manipulaci svítidla, osvětlovacích soustav a vlastností objektu ve výpočtovém programu značně usnadní projektantovi práci. Pro dosažení závěru bylo potřeba se naučit měřit svítidla na fotometrické lavici a zpracovávat data do výpočtového programu. Od toho se odvíjí i schopnost ovládat tyto programy (Dialux, Relux). Dalším přínosem je obeznámení se s normou ČSN EN 12464-1, která klade požadavky na vnitřní pracovní prostory. Na základě výsledku pak efektivně řešit danou problematiku světelně-technických veličin s ohledem na finanční požadavky investora.

Literatura

- [1] SOKANSKÝ, K. a kolektiv: Světelná technika. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011
- [2] T-LED. Barva světla (teplota chromatičnosti) u LED osvětlení: Barva světla LED [online]. [cit. 2017-12-03]. Dostupné z: <https://www.t-led.cz/info/barva-svetla.html>
- [3] MAREK, Martin. *Krytí elektrických zařízení* [online]., 4 [cit. 2020-02-03]. Dostupné z: http://fe1.vsb.cz/kat410/studium/studijni_materialy/dpes/03-kapitolky%20prehled/02-kryti%20IP.pdf
- [4] KOUDELKA, Ctirad. *Ochranné kryty elektrických zařízení a předmětů: IK kód* [online]. Ostrava, březen 2004 [cit. 2020-02-03]. Dostupné z: http://fe1.vsb.cz/kat420/vyuka/TZB/IK_kod.pdf
- [5] ČEPELÍK, Elkovo. Elektronické předřadníky + stmívání. *ELKOVO ČEPELÍK* [online]. Turnov: ELKOVO, 2015 [cit. 2018-04-17]. Dostupné z: <http://www.elkovo-cepelik.cz/elektronicke-predradniky-stmivani>
- [6] Umělé osvětlení vnitřního prostředí Ing. Henrietta PŘIBÁŇOVÁ, MUDr. Ariana LAJČÍKOVÁ, CSc. Článek dostupný na webu <http://www.tzbinfo.cz/>
- [7] SOKANSKÝ, Karel. *Inteligentní řízení osvětlovacích soustav vnitřního osvětlení* [online]. 2003. Ostrava: Česká společnost pro osvětlování, 2003 [cit. 2018-04-17]. Dostupné z: http://www.csorsostrava.cz/publikace/inteligentni_ridici_systemy%20-%202003.pdf
- [8] JAROSLAV DOLEČEK. Moderní učebnice elektroniky - 3.díl: Optoelektronika a optoelektronické prvky. 1. české. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-184-5.
- [9] Quora: LED light [online]. [cit. 2018-04-18]. Dostupné z: <https://www.quora.com/Does-LED-UV-nail-gel-cure-under-a-standard-LED-light-bulb>
- [10] DENNÍ A SDRUŽENÉ OSVĚTLENÍ skripta Univerzity Tomáše Bati Dostupné z webu: ufmi.ft.utb.cz ustav fyziky a materiálového inženýrství
- [11] Třídy ochran elektrických přístrojů Ing. Jaromír Tyrbac. Dostupné na webu <http://web.telecom.cz/>
- [12] Popis optických mřížek a krytů, stmívání. Dostupný na <http://www.elkovo-cepelik.cz/>

- [13] Obrázek: mikrovlnný senzor a pohybové čidlo IS15-IP65 [online]. [cit. 2020-02-03]. Dostupné z: <https://www.t-led.cz/p/pohybove-cidlo-is15-ip65-68261>
- [14] Habel, J.: Světlo a osvětlování. FCC Public, Praha 2013
- [15] Norma ČSN EN 12646 - 1 Světlo a osvětlování – Osvětlení pracovních prostorů – Část 1: Vnitřní pracovní prostory
- [16] BESEDA, Jiří. *Řízení vnitřních osvětlovacích soustav na konstantní hladinu osvětlenosti*. Ostrava 2018. Diplomová práce. Fakulta elektrotechniky a informatiky Vysoké školy báňské v Ostravě. Katedra elektroenergetiky. Vedoucí práce Ing. Roman Hrbáč, Ph.D.
- [17] Svítidla, osvětlení, elektro: *Opálový kryt* [online]. [cit. 2020-02-03]. Dostupné z: <https://www.svitidla-osvetleni-elektro.cz/modus-exad228koepsdd-2x28w-opalovy-kryt-dali-stmivatelne-prisazene-pro-prime-osvetleni>
- [18] SVOZIL, Zdeněk. *Měření a vyhodnocování parametrů nových typů svítidel*. Ostrava 2013. Diplomová práce. Fakulta elektrotechniky a informatiky Vysoké školy báňské - Technické univerzity v Ostravě. Katedra elektroenergetiky. Vedoucí práce prof. Ing. Karel Sokanský, CSc.
- [19] BULA, Vojtěch. *Minimalizace spotřeby elektrické energie ve vnitřních osvětlovacích soustavách*. Ostrava 2015. Diplomová práce. Fakulta elektrotechniky a informatiky Vysoké školy báňské - Technické univerzity v Ostravě. Katedra elektroenergetiky. Vedoucí práce doc. Ing. Tomáš Novák, Ph.D.
- [20] LIAO, Alice. LEDs: Understanding Optical Performance. *Architectural Lighting Technology* [online]. 2014, October 13, 2014 [cit. 2017-12-28]. Dostupné z: http://www.archlighting.com/technology/ledsunderstanding-optical-performance_o
- [21] Svět svítidel: *Základní druhy patič* [online]. [cit. 2020-02-03]. Dostupné z: <https://www.svet-svitidel.cz/novinky-detail-jake-jsou-typy-zavitu-a-patic-u-zarovek/>
- [22] Eleman: *Svorkovnice* [online]. [cit. 2020-02-03]. Dostupné z: <https://www.eshop.eleman.cz/svorkovnice-slk-3-4-e-schr-n-e-1-2-pro-svitidla-bezsroubova-pc-bila-88167530>
- [23] Popis optických mřížek a krytů, stmívání. Dostupné z <http://www.elkovo-cepelik.cz/>
- [24] KÖNIG, Petr. *ATP Journal: Systémová elektroinstalace KNX pro ovládání budov* [online]. 9.2.2012 [cit. 2020-02-03]. Dostupné z: https://www.atpjournal.sk/budovy/rubriky/prehladove-clanky/systemova-elektroinstalace-knx-proovladani-budov.html?page_id=14144

- [25] TOMEK, Michal. *Navrhování osvětlovacích soustav veřejného osvětlení pracujících v součinnosti s kamerovými systémy*. Ostrava 2018. Bakalářská práce. Fakulta elektrotechniky a informatiky Vysoké školy báňské - Technické univerzity v Ostravě. Katedra elektroenergetiky. Vedoucí práce doc. Ing. Tomáš Novák, Ph.D.
- [26] Doublepower!! s.r.o.: Produkty [online]. [cit. 2020-02-15]. Dostupné z: <https://www.doublepower.cz/produkty/prumyslova-svitidla-led/>
- [27] Tridonic: Driver LC 25W 100–500mA flexC lp EXC [online]. [cit. 2020-02-24]. Dostupné z: <https://www.tridonic.com/com/en/products/led-driver-lc-25w-100-500ma-flexc-lp-exc.asp>
- [28] Potenciál energetických úspor veřejného osvětlení v ČR: Požadavky na omezení rušivého světla, jehož dominantním zdrojem je VO [online]. Ostrava, 2007 [cit. 2020-03-30].

Seznam obrázků

Obrázek 1 Náhradní teplota chromatičnosti [2]	3
Obrázek 2 Schématická značka světelné diody.....	4
Obrázek 3 V-A charakteristika světelné diody.....	5
Obrázek 4 Spektrální charakteristika studené a teplé LED [9]	5
Obrázek 5 Úhel clonění α [15]	7
Obrázek 6 Svítidlo MYRA a křivky svítivosti [25]	8
Obrázek 7 Svítidlo Voltana a křivky svítivosti [25].....	8
Obrázek 8: Křivky svítivosti v pravoúhlých souřadnicích.....	9
Obrázek 9 Zapojení s využitím regulátoru 1 V – 10 V [5].....	9
Obrázek 10 Zapojení stmívání pomocí rozhraní DALI [12]	10
Obrázek 11 Princip sběrnice KNX [24]	11
Obrázek 12 Senzor umístěný ve svítidle [19]	11
Obrázek 13 PIR senzor IS15-IP65 [13].....	12
Obrázek 14 Mikrovlnný senzor [13]	13
Obrázek 15 Příklad kombinovaného senzoru.....	13
Obrázek 16 Náhodná síť bodů vyhodnocena programem Dialux.....	15
Obrázek 17 Příklad bodové metody třech svítidel	18
Obrázek 18 Závislost světelného toku na době životnosti vzhledem k provozní teplotě [16]	21
Obrázek 19 Sérioparalelní zapojení napěťového zdroje s předřadným rezistorem [16]	21
Obrázek 20 Schéma zapojení proudového zdroje [16]	22
Obrázek 21 Základní druhy patic [21]	22
Obrázek 22 Bezšroubová čtyřpólová svorkovnice pro svítidla z polykarbonátu [22]	23
Obrázek 23 Porovnání paprsků TIR čoček a reflektoru [20]	23
Obrázek 24 Základní optické prvky [1]	24
Obrázek 25 Opálový kryt [17]	25
Obrázek 26 Princip mikropyramidového krytu [14]	25
Obrázek 27 Svítidlo s vypouklým sklem (vlevo) a plochým sklem (vpravo) [28]	27
Obrázek 28 Značení jednotlivých tříd.....	28
Obrázek 29 Schématické značky jednotlivých tříd [11]	28
Obrázek 30 Schématické znázornění měření svítidel [1].....	31
Obrázek 31 Svítidlo SKY 120 W a teplotní management [26].....	32
Obrázek 32 Změřené křivky svítivosti svítidla SKY 120 W.....	33
Obrázek 33 Svítidlo TREE LED 35 W a teplotní management [26]	34
Obrázek 34 Změřené křivky svítivosti a žebrování svítidla TREE LED 35 W	34
Obrázek 35 Svítidlo LED High Bay	35
Obrázek 36 Křivky svítivosti svítidla LED High Bay	36
Obrázek 37 Předřadník Tridonic LC 25 W flexC IP EXC [27]	37
Obrázek 38 Sample 1 - svítidlo a křivky svítivosti C0-C180 a C90-C270	38
Obrázek 39 Sample 2 - svítidlo a křivky svítivosti C0-C180 a C90-C270	39
Obrázek 40 Sample 3 - zadní optika	40
Obrázek 41 Sample 3 - svítidlo a křivky svítivosti v C0-C180 a C90-C270	40
Obrázek 42 Sample 4 - svítidlo a křivky svítivosti v C0-C180 a C90-C270	41
Obrázek 43 Sample 5 - svítidlo a křivky svítivosti v C0-C180 a C90-C270	42
Obrázek 44 Zjednodušené konstrukční uspořádání optiky vzorků	43
Obrázek 45 Půdorys a přehled výpočtových ploch haly letecké techniky	44

Obrázek 46 3D modelování haly letecké techniky pomocí programu Dialux	45
Obrázek 47 Situační náhled umístění svítidel v hale letecké techniky	45
Obrázek 48 Bokorys průmyslové haly letecké techniky	46
Obrázek 49 Výpočtová plocha chodby	48
Obrázek 50 3D modelování chodby pomocí programu Dialux	48
Obrázek 51 Situační náhled umístění svítidel Sample 1 v chodbě.....	49
Obrázek 52 Kruhové stínění svítidla SKY 120 W	50
Obrázek 53 Síť bodů oslnění s kruhovým stíněním svítidla SKY 120 W	51
Obrázek 54 Síť bodů hodnot oslnění s odrazností stěn 100 %.....	51
Obrázek 55 Řešení problematiky oslnění chodby otočením svítidel o 90°	53
Obrázek 56 Síť bodů před eliminací hodnot oslnění.....	54
Obrázek 57 Síť bodů po eliminaci hodnot oslnění.....	54

Seznam tabulek

Tabulka 1 Minimální úhly clonění svítidel pro specifikované jasy světelných zdrojů [15].....	15
Tabulka 2 Výroba a opravy vozidel [15].....	16
Tabulka 3 Skladové prostory a chladírny [15]	16
Tabulka 4 Elektrotechnický průmysl [15].....	16
Tabulka 5 Výroba a zpracování kovů [15].....	17
Tabulka 6 Ochrany proti dotyku a vniknutí cizích těles [3].....	29
Tabulka 7 Ochrany proti vniknutí vody [3].....	30
Tabulka 8 Stupeň krytí proti mechanickému poškození [4].....	30
Tabulka 9 Parametry svítidla SKY 120 W	32
Tabulka 10 Parametry svítidla TREE LED 35 W	33
Tabulka 11 Parametry svítidla LED High Bay	35
Tabulka 12 Sample 1 - vstupní parametry	38
Tabulka 13 Sample 2 - vstupní parametry	39
Tabulka 14 Sample 3 - vstupní parametry	40
Tabulka 15 Sample 4 - vstupní parametry	41
Tabulka 16 Sample 5 - vstupní parametry	42
Tabulka 17 Porovnání měrného výkonu vzorků	43
Tabulka 18 Výstupní hodnoty osvětlovací soustavy s použitím svítidla SKY 120 W	46
Tabulka 19 Výstupní hodnoty osvětlovací soustavy s použitím svítidla TREE LED 35 W	47
Tabulka 20 Výstupní hodnoty osvětlovací soustavy s použitím svítidla LED High Bay	47
Tabulka 21 Výsledky osvětlovací soustavy všech typů vzorků	49
Tabulka 22 Porovnání hodnot na základě změny rozměrů svítidla a optiky.....	52
Tabulka 23 Minimální úhly clonění pro specifikované jasy světelných zdrojů [15]	52
Tabulka 24 Jasy svítidla SKY 120 W	52
Tabulka 25 Jasy svítidla TREE LED 35 W a LED High Bay	53
Tabulka 26 Výstupní hodnoty při řešení problematiky oslnění chodby.....	53
Tabulka 27 Porovnání jasů pro minimální úhel clonění 15°	54

Seznam příloh

Příloha I	Naměřená data: SKY 120 W, TREE LED 35 W, LED High Bay
Příloha II	Naměřená data: Sample 1 – SEA 16 W PC Clear, Sample 2 – SEA 16 W LEDIL PC Clear, Sample 3 – SEA 16 W BB PC Clear, Sample 4 – SEA 16 W PC MAT, Sample 5 – SEA 16 W BB GLASS
Příloha III	Hala_letecké_techiky.pdf
Příloha IV	Chodba.pdf
Příloha V	Chodba_2.pdf